(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報（A）　(11)特許出願公開番号
特開平10－307263
(43)公開日　平成10年(1998)11月17日

(51)Int.Cl.*	識別記号	FI		
G02B	25/00	G02B	25/00	A
	13/18		13/18	
	17/08		17/08	A

審査請求　未請求　請求項の数4　OL　（全34頁）

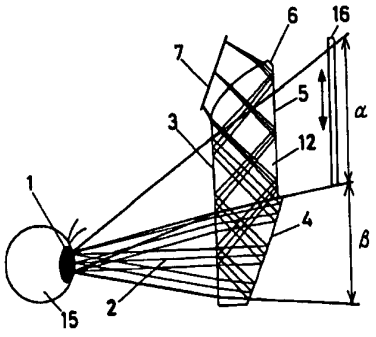
(21)出願番号　特願平9-116724

(22)出願日　平成9年(1997)5月7日

(71)出願人　000000376
オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
(72)発明者　高橋潤子
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリンパス光学工業株式会社内
(72)発明者　高橋浩一
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリンパス光学工業株式会社内
(74)代理人　弁理士　蓮澤　弘　(外7名)

(54)【発明の名称】プリズム光学素子及び像観察装置

(57)【要約】
【課題】　広い画角においても収差が少なく明瞭で、歪みの少ない観察像を与える非常に小型なプリズム光学素子、像観察装置、画像表示装置。
【解決手段】　画像表示素子７から発した光線は、接眼光学系１２の第４面６に入射し、第３面５で観察者瞳１側に全反射し、観察者瞳１の直前に配置している第１面３で反射し、第２面４で観察者瞳１側に反射をし、第１面３を透過して観察者の虹彩位置を射出瞳１として観察者の眼球１５内に投影される。外界像を観察する場合は、外界の物点からの光線が第３面５から入射し、第１面３を透過して、観察者の眼球１５内に投影される。第３面５における任意の光線の内部反射の角度を$\theta_{r,3}$とするとき、$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r,3} \leqq 60°$を満たす。ここで、$n_d$は接眼光学系１２の媒質のｄ線の屈折率である。



maybe
①

【特許請求の範囲】
【請求項１】　屈折率（ｎ）が１よりも大きい（ｎ＞１）媒質を挟んだ複数の面によって形成されるプリズム光学素子において、
前記プリズム光学素子が、前記プリズム光学素子内部に光線を入射させるか、若しくは、前記プリズム光学素子内部から光線を射出させる透過作用及び前記プリズム光学素子内部での内部反射作用とを合わせて有した第１面と、前記媒質を挟んで前記第１面と対向配置され前記プリズム光学素子内部での内部反射作用を有する第２面と、前記第２面と略近接する位置に配置されかつ前記第＊１面と前記媒質を挟んで対向配置され前記プリズム光学素子内部での内部反射作用を有する第３面と、前記第１面が光線を前記プリズム光学素子内部に入射させる作用を有するときには前記プリズム光学素子内部から光線を射出させる作用を有し、前記第１面が光線を前記プリズム光学素子内部から射出させる作用を有するときには前記プリズム光学素子内部に光線を入射させる作用を有するような透過作用を持った第４面とを有し、前記媒質のｄ線における屈折率をn_d、前記第３面における任意の光線の内部反射の角度を$\theta_{r,3}$とするとき、

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r,3} \leqq 60° \quad \cdots (1)$$

を満たすことを特徴とするプリズム光学素子。
【請求項２】　像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、
前記接眼光学系が、間を屈折率（ｎ）が１よりも大きい（ｎ＞１）単体媒質で埋めた少なくとも３つの面を備えた面構成を持つプリズム部材を有すると共に、前記プリズム部材が前記像形成手段から射出された光線を少なくとも３回内部反射させる作用を有し、かつ、その少なくとも３回の内部反射作用の中の少なくとも２回の内部反射は全反射作用による反射となるように構成されており、前記少なくとも２回の全反射作用の中の少なくとも１回の反射は前記プリズム部材の単体媒質の観察者側に配置された面によって行われ、かつ、その面は前記プリズム部材の内部反射によって生じる収差を補正する作用を持った曲面形状に形成され、
さらに、前記プリズム部材の少なくとも３つの面の中少なくとも２つの面を通して外界観察を行うことができるように、前記少なくとも２つの面が前記単体媒質を挟んで外界を観察するときに発生する歪みを低下させるような対向配置がなされていることを特徴とする像観察装置。
【請求項３】　像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、
前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、
前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも４つ設けられ、かつ、その４つの光学作用面で囲まれた間を屈折率（ｎ）が１よりも大きい（ｎ＞１）単体媒質で埋めて構成され、
前記４つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第１面と、前記第１面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第２面と、前記第１面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第２面に略隣接配置された反射作用を有する第３面と、一方の端部を前記第１面に略隣接させ他方の端部を前記第３面に略近接させるように配置した第４面とからなり、
少なくとも前記第３面は全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記第１面と前記単体媒質と前記第３面とを通して外界を観察することが可能な外界観察作用を有するように前記第１面と前記単体媒質と前記第３面とが構成されていることを特徴とする像観察装置。
【請求項４】　像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、
前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、
前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも４つ設けられ、かつ、その４つの光学作用面で囲まれた間を屈折率（ｎ）が１よりも大きい（ｎ＞１）単体媒質で埋めて構成され、
前記４つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第１面と、前記第１面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第２面と、前記第１面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第２面に略隣接配置された反射作用を有する第３面と、一方の端部を前記第１面に略隣接させ他方の端部を前記第３面に略近接させるように配置した第４面とからなり、
少なくとも前記第２面又は前記第３面が全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記全反射作用を有する前記第２面又は前記第３面の全反射作用を生じる領域近傍に観察者の視線を検出する作用を持った視線検出手段を配置したことを特徴とする像観察装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】本発明は、プリズム光学素子及び像観察装置に関し、特に、観察者の頭部又は顔面に保持することを可能にする頭部又は顔面装着型画像表示装置に関する。

3

【0002】

【従来の技術】頭部又は顔面装着型画像表示装置の従来の周知なものとして、特開平3－101709号のものがある。この画像表示装置は、画像表示素子の表示画像を正レンズよりなるリレー光学系にて空中像として伝達し、凹面反射鏡からなる接眼光学系でこの空中像を拡大して観察者の眼球内に投影するものである。

【0003】また、従来の他のタイプのものとして、米国特許第4，669，810号のものがある。この装置は、CRTの画像をリレー光学系を介して中間像を形成し、反射ホログラフィック素子とホログラム面を有するコンバイナによって観察者の眼に投影するものである。

【0004】さらに、従来の他のタイプの画像表示装置として、米国特許第4，026，641号のものがある。この装置は、画像表示素子の像を伝達素子で湾曲した物体面に伝達し、その物体面をトーリック反射面で空中に投影するようにしたものである。

【0005】また、従来の他のタイプの画像表示素子として、米国再発行特許第27，356号のものがある。この装置は、半透過凹面鏡と半透過平面鏡によって物体面を射出瞳に投影する接眼光学系である。

【0006】その他、米国特許第4，322，135号、米国特許第4，969，724号、欧州特許第0，583，116A2号、特開平7－333551号のものも知られている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平3－101709号、米国特許第4，669，810号のような画像表示素子の映像をリレーするタイプの画像表示装置では、接眼光学系の形式によらず、接眼光学系以外にリレー光学系として数枚のレンズを用いなければならないため、光路長が長く、光学系は大型になり、重量も重たくなる。

【0008】頭部装着式画像表示装置は、人間の身体、特に頭部に装着する装置であるため、装置が顔面から突出する量が大きいと、頭部で支持している点から装置の重心までの距離が長くなり、装着時のバランスが悪くなる。さらに、装置を装着して移動、回転等を行うときに装置が物にぶつかるおそれも生じる。つまり、頭部装着式画像表示装置は、小型軽量であることが重要である。そしてこの装置の大きさ、重量を決定する大きな要因は光学系の構成にある。

【0009】しかしながら、接眼光学系として通常の拡大鏡のみを用いると、発生する収差は非常に大きく、それを補正する手段がない。拡大鏡の凹面の形状を非球面にすることである程度球面収差が補正できても、コマ収差、像面湾曲等が残存するため、観察画角を大きくすると、実用的な装置にはなり得ない。あるいは、接眼光学系として凹面鏡のみを用いる場合には、通常の光学素子（レンズやミラー）のみではなく、発生した像面湾曲に合わせて湾曲した面を有する伝導素子（ファイバープレート）によってこれを補正するという手段を用いなければならない。

4

【0010】さらに、米国特許第4，026，641号のような、映像表示素子の像をトーリック反射面を用いて観察者眼球に投影するタイプでは、偏心したトーリック反射面により発生する像面湾曲を物体面自体を湾曲させて補正を行っているため、LCD（液晶表示素子）等のいわゆるフラットディスプレイを画像表示素子として用いることが困難である。

【0011】一方、米国再発行特許第27，356号のような、半透過凹面鏡と半透過平面鏡を用いて物体面を観察者の瞳に投影する共軸系の接眼光学系においては、半透過面を2枚用いているために、理論値でも像の明るさは1／16にまで低下してしまう。さらに、半透過凹面鏡によって発生する像面湾曲を物体面自体を湾曲させて補正を行っているため、LCD（液晶表示素子）等のフラットディスプレイを画像表示素子として用いることが上記と同様に困難である。

【0012】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、広い画角においても収差が少なく明瞭で、歪みの少ない観察像を与える非常に小型な像観察装置とそれに用いられるプリズム光学素子を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明のプリズム光学素子は、屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）媒質を挟んだ複数の面によって形成されるプリズム光学素子において、前記プリズム光学素子が、前記プリズム光学素子内部に光線を入射させるか、若しくは、前記プリズム光学素子内部から光線を射出させる透過作用及び前記プリズム光学素子内部での内部反射作用とを合わせて有した第1面と、前記媒質を挟んで前記第1面と対向配置され前記プリズム光学素子内部での内部反射作用を有する第2面と、前記第2面と略近接する位置に配置されかつ前記第1面と前記媒質を挟んで対向配置され前記プリズム光学素子内部での内部反射作用を有する第3面と、前記第1面が光線を前記プリズム光学素子内部に入射させる作用を有するときには前記プリズム光学素子内部から光線を射出させる作用を有し、前記第1面が光線を前記プリズム光学素子内部から射出させる作用を有するときには前記プリズム光学素子内部に光線を入射させる作用を有するような透過作用を持った第4面とを有し、前記媒質のd線における屈折率をn_d、前記第3面における任意の光線の内部反射の角度をθ_{r3}とするとき、

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 60^\circ \quad \cdots (1)$$

を満たすことを特徴とするものである。

【0014】なお、本発明において、第2面と第3面とは、別々に設計された面が隣接配置されている構成に限らず、1つの同一面を用いて、その面の一部の領域面を第2面として作用させ、その面の他の一部の領域面を第3面として作用させるものも含むものである。また、その際、光線束に幅があることから、当然第2面としても第3面としても作用するオーバーラップ領域が存在してもよいことは言うまでもない。

5

【0015】本発明による1つの像観察装置は、像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が、面を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めた少なくとも3つの面を備えた面構成を持つプリズム部材を有すると共に、前記プリズム部材が前記像形成手段から射出された光線を少なくとも3回内部反射させる作用を有し、かつ、その少なくとも3回の内部反射作用の中の少なくとも2回の内部反射は全反射作用による反射となるように構成されており、前記少なくとも2回の全反射作用の中の少なくとも1回の反射は前記プリズム部材の単体媒質の観察者側に配置された面によって行われ、かつ、その面は前記プリズム部材の内部反射によって生じる収差を補正する作用を持った曲面形状に形成され、さらに、前記プリズム部材の少なくとも3つの面の中少なくとも2つの面を通して外界観察を行うことができるように、前記少なくとも2つの面が前記単体媒質を挟んで外界を観察するときに発生する歪みを低下させるような対向配置がなされていることを特徴とするものである。

【0016】本発明のもう1つの像観察装置は、像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも4つ設けられ、かつ、その4つの光学作用面とそれ以外の面で囲まれた間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めて構成され、前記4つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第1面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第2面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第2面に略隣接配置された反射作用を有する第3面と、一方の端部を前記第1面に略隣接させ他方の端部を前記第3面に略近接させるように配置した第4面とからなり、少なくとも前記第3面は全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記第1面と前記単体媒質と前記第3面とを通して外界を観察することが可能な外界観察作用を有するように前記第1面と前記単体媒質と前記第3面とが構成されていることを特徴とするものである。

6

【0017】本発明のさらにもう1つの像観察装置は、像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも4つ設けられ、かつ、その4つの光学作用面で囲まれた間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めて構成され、前記4つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第1面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第2面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第2面に略隣接配置された反射作用を有する第3面と、一方の端部を前記第1面に略隣接させ他方の端部を前記第3面に略近接させるように配置した第4面とからなり、少なくとも前記第2面又は前記第3面が全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記全反射作用を有する前記第2面又は前記第3面の全反射作用を生じる領域近傍に観察者の視線を検出する作用を持った視線検出手段を配置したことを特徴とするものである。

【0018】なお、本発明において、第2面と第3面とは、別々に設計された面が隣接配置されている構成に限らず、1つの同一面を用いて、その面の一部の領域面を第2面として作用させ、その面の他の一部の領域面を第3面として作用させるものも含むものである。また、その際、光線束に幅があることから、当然第2面としても第3面としても作用するオーバーラップ領域が存在してもよいことは言うまでもない。

【0019】以下に、本発明のプリズム光学素子と像観察装置、画像表示装置の構成と作用効果について説明をする。特に、像観察装置、画像表示装置の説明においては、光学系の設計上の利便性から、特別の記載がない場合、観察者瞳位置から画像表示素子に向けて光線を追跡する逆光線追跡に基づいて説明を行う。

【0020】この像観察装置においては、画像表示素子（像形成手段）からの光線を接眼光学系内で3回の内部反射をすることよって光路が折り畳まれる効果が絶大となり、非常に薄型の接眼光学系を実現している。さらに、その3回の内部反射の中、2回の反射を全反射とすることによって反射コーティングする領域が非常に少なくなり、小型軽量で低コストな接眼光学系を実現することに成功している。さらに、3回の反射の中、2回の反射を全反射とすることで不要光の発生によるゴースト像の発生、あるいは、フレアーによるコントラストの低下を少なくできる。通常、屈折率が1より大きい光学媒質で満たされた内部反射を有する光学系においては、画像表示素子からの射出角の大きい光、正規の光線経路では

ない反射等による不要光による影響が問題になる。本発明では全反射面を2面用いることで、反射コーティング面が少なくなるため、画像表示素子から瞳に到達する本来の光束以外の不要光は2つの内部反射面で透過されることになり、観察者瞳まで到達する不要光が著しく低減される。

【0021】図20を参照にしてこの作用を詳しく説明する。図20は光軸に対して偏心した3つの面101、102、103によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12の画像表示素子7からの光が入射する部分の拡大図であり、15は観察者眼球、101は入射面、102は外界側の反射面又は全反射面、103は観察者側の屈折面又は反射面である。図20（a）は反射面102が反射コーティングされている場合、図20（b）は反射面102が全反射面であり、反射コーティングされていない場合を示している。図20（a）の場合、画像表示素子7の左側から射出した射出角の大きな光は偏心プリズム12の入射面101に入射して屈折され、反射コーティングされた反射面102において反射され、屈折面103を透過して観察者眼球15に入射される。したがって、観察者は正規の画像表示素子7の画像（以下、電子像）以外に観察者の視野の上方に不要な電子像が見えるか、又は、上方にフレアーが生じることになる。

【0022】図20（b）の場合、画像表示素子7の左側から射出した射出角の大きな光は偏心プリズム12の入射面101に入射して屈折され、反射コーティングされていない反射面102においては臨界角以下の入射角となっているため透過されてしまう。したがって、この光は観察者の反対側に透過するため、観察者眼球15には入射されない。つまり、ゴースト像又はフレアーは発生しないことになる。

【0023】以上説明した作用は、この例以外でも全反射面において同様に生じさせることが可能である。正規の電子像を観察する光線経路の光束は臨界角以上の入射角を有するように設定し、それ以外のゴースト又はフレアーになる可能性のある射出角の光束を全反射面において臨界角以下になるように設定することによって達成できる。また、この全反射面を2面に設定することによって上述した効果を得るのが容易となり、観察者にはゴースト像がなく、フレアーによるコントラストの低下の少ない明瞭な観察像を提供することが可能となる。

【0024】まず、本発明のプリズム光学素子は、像観察装置あるいは画像表示装置の接眼光学系（観察光学系）として用いることを想定すると、少なくとも3回の内部反射を生じせしめるようなプリズム部材にて構成され、そのプリズム部材は屈折率が1より大きい媒質で満たされているため、上述した光路の折り畳み効果による接眼光学系を非常に薄くできる効果に加え、少なくとも内部反射が3回以上生じるような構成としたことによる

収差補正の効果が絶大となり、画面の隅々まで明瞭な観察像を显示することが可能となっている。この点を以下に詳しく説明する。

【0025】上記プリズム光学素子の主なパワーは反射面である第2面で与えられる。この場合、パワーが等しい屈折系に比べて大きな曲率半径で構成することができるため、収差の発生を少なくすることができる。そして、外界側の反射面を2つの異なる面（第2面及び第3面）に分けたことより、各面の曲率に依存することなく好ましい方向に反射光を設定することが可能である。したがって、光学系の形状を観察者顔面に沿うようにし、画像表示素子の背面を観察者側に向くように配置することができる。特に、画像表示素子がLCD等のバックライトが必要なものの場合、バックライトや電気系が観察者側に配備されるため、前方に突出することがなく画像表示装置全体の突出を最小限に構成できる。

【0026】一般に、凹面鏡を光軸に対して偏心又は傾けて配置すると、共軸系では発生しない偏心による収差が発生する。本発明のプリズム光学素子においても、像観察装置あるいは画像表示装置に用いる場合、第2面が観察者視軸に対して偏心又は傾いているため、偏心による収差が発生している。特に、軸上においても軸上主光線の光路を含む面内に沿う方向（タンジェンシャル方向）と視軸を含み軸上主光線の光路を含む面と垂直な方向（サジタル方向）とのパワーが異なるため、非点収差及びコマ収差が発生する。これらの偏心収差を補正するためには、プリズム光学素子を構成する少なくとも4面の中、少なくとも1面がタンジェンシャル方向とサジタル方向とのパワーが異なる面、つまり、回転非対称な面で構成されることで、第2面で発生する偏心収差を補正することができる。

【0027】さらに、対称面が1面しかない面で構成することが有効である。観察者視軸（軸上主光線）上に画像表示素子を配置した場合、接眼光学系を構成している少なくとも1つの面をサジタル方向において対称面を有する面とすることで、観察者眼球に対して左右対称な観察像を投影することができる。一方、その面のタンジェンシャル方向には対称面を持たないようにすると、タンジェンシャル方向における自由度が増大し、軸上主光線の光路を含む面内において発生する偏心収差をより良好に補正することが可能となる。

【0028】上記の接眼光学系を少なくとも4つの面で構成する場合、第1面の反射が全反射であるようにすることができる。観察者瞳の直前に配置している面である第1面を全反射とすることで、接眼光学系から光線の射出する領域と内部反射領域をオーバーラップさせることが可能となる。つまり、1つの面で2つの作用を共有することができ、接眼光学系を小型に構成することを可能にした。

【0029】また、第1面においても上述した全反射面

によるゴースト、フレアを低減する効果が得られるため、よりクリアーな観察像を提供することが可能となる。さらに、反射コーティングは第2面のみとなるため製作性が向上しより安価な画像表示装置を実現できる。

＊【0030】また、上記のプリム光学素子において、媒質のd線における屈折率をn_d、第3面における任意の光線の内部反射の角度をθ_{r3}とするとき、

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 60° \quad \cdots (1)$$

を満たすようにすることが望ましい。この（1）式を満たすことが重要である。下限である$\sin^{-1}(1/n_d)$以上とすることで、第3面における内部反射角が臨界角以上になり、画像表示素子から発した任意の光線は第3面において全反射することが可能となる。

【0031】また、第3面における反射角が大きいすぎると、プリズム光学素子が視軸の垂直方向（タンジェン※シャル方向）に長いものになってしまう。特に、広画角な画像表示装置の場合は、軸外光線が次に反射する第1面に到達できない程広がり、実現不能になる。したがって、画像表示素子から発した任意の光線は第3面において（1）式の上限である60°以下に設定されていることが望ましい。

【0032】さらに、

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 50° \quad \cdots (2)$$

を満たすことようにすることが望ましい。第3面は光軸（軸上主光線）に対して傾くかあるいは偏心した曲面であるため、この面における反射角はできるだけ小さい方が偏心による収差、特に偏心コマ収差の発生が小さい。したがって、画像表示素子から発した任意の光線は第3面において（2）式の上限である50°以下に設定されていることが望ましい。

【0033】また、プリズム光学素子を構成する少なくとも1面は平面とすることが安価な画像表示装置を実現するために重要である。少なくとも1つの平面を基準としてその他の面を定義できるため、光学系の機械的な設計、製作を容易にすることができる。これにより、加工時間の短縮、装置全体の容易なレイアウト等も可能となり、大幅なコスト削減を実現できる。

【0034】また、少なくとも1面を球面にすることによっても同様の効果を得ることができる。その場合、少なくとも1つの球面を基準としてその他の面を定義することが容易であるため、装置全体のレイアウト等も簡易になり、大幅なコスト削減が可能となる。

【0035】なお、プリズム光学素子の媒質の屈折率nが1．3よりも大きいことが望ましい。

【0036】以上のようなプリズム光学素子を観察光学系内部に配置して観察光学系を構成することができることは、上記の説明から明らかであろう。

【0037】その場合、プリズム光学素子を対物レンズ内部に配置することもできるし、対物レンズ後方に配置し、対物レンズによって形成された物体像を正立正像させる作用を持った像正立手段内部に配置することもできる。後者においては、そのプリズム光学素子に像正立作用と共に接眼レンズ作用も合わせて持たせることができる。

【0038】また、以上のプリズム光学素子の第4面に対向配置されるLCD（液晶表示素子）、CRTからなる像形成手段、あるいは、リレー光学系によってリレーされるLCDやCRT等からなる像形成手段と、そのプリズム光学素子とその像形成手段を観察者顔面に保持する作用を持った保持部材とを有し、像形成手段から射出

【0039】なお、本発明において、第2面と第3面とを同一面にて兼用させることができる。その場合、物理的な面の数を1面減少させることができるため、光学設計上、及び、プリズムの生産上、工程が簡略化でき、量産性並びに価格の低減に寄与できる。さらに、物理的に1つの面に第2面作用と第3面作用とを併せ持つように兼用させ、かつ、光束が内部反射する領域を一部オーバーラップさせるようにすれば、プリズム部材の小型化が実現でき望ましい。

【0040】また、本発明の1つの像観察装置は、像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が、面を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めた少なくとも3つの面を備えた面構成を持つプリズム部材を有すると共に、前記プリズム部材が前記像形成手段から射出された光線を少なくとも3回内部反射させる作用を有し、かつ、その少なくとも3回の内部反射作用の中の少なくとも2回の内部反射は全反射作用による反射となるように構成されており、前記少なくとも2回の全反射作用の中の少なくとも1回の反射は前記プリズム部材の単体媒質の観察者側に配置された面によって行われ、かつ、その面は前記プリズム部材の内部反射によって生じる収差を補正する作用を持った曲面形状に形成され、さらに、前記プリズム部材の少なくとも3つの面の中少なくとも2つの面を通して外界観察を行うことができるように、前記少なくとも2つの面が前記単体媒質を挟んで外界を観察するときに発生する歪みを低下させるような対向配置がなされていることを特徴とするものである。

【0041】本発明の像観察装置は、第3面5は全反射面であり反射コーティングをしていないため、第3面5と第1面3を透過する外界光は観察者眼球15に到達す

る。したがって、電子像の観察範囲βと異なる範囲αで外界を観察可能となる。このように、観察者が外界像と電子像を部分領域別に観察できることは、例えば、観察者が観察者視界の中で、上側領域で外界を観察し、下側領域で電子像を同時に観察することができることである。ただし、この部分領域別とは、上下、左右等、観察者が部分的にそれぞれを観察できればどのような方向、領域に分かれていても構わない。このような機能を備えることで、観察者が画像表示装置を装着したまま外界を認識できるため、危険防止と緊急時に対応できる安全な画像表示装置を提供することができる。そのため、画像表示装置としてのアプリケーションの幅が広がることとなる。

【0042】この像形成装置において、像形成手段としては、第4面に像形成画面を対向配置させたLCD、CRT等の画像表示素子（リレー光学系によってリレーされるものは予定していない。）であり、第2面は曲面にて形成されていることが望ましい。

【0043】また、このような像形成装置において、画像表示素子と接眼光学系を観察者眼球前方に保持する作用を持った保持部材を設け、プリズム部材が、画像表示素子から射出した光束が、第4面から入射し、その入射光束が第3面で反射され、その反射光束が第1面で反射され、その反射光束が第2面で反射され、その反射光束が第1面から射出されるように構成することにより頭部装着型画像表示装置として構成することができる。

【0044】また、以上の像観察装置において、プリズム部材が、像形成手段によって形成された像の観察時及び外界像の観察時の何れの観察においても、同じ位置に固定したものとすることができ、その場合、下記の図7を用いて説明するように、第1面と前記第3面を通して、部分領域別に像形成手段からの像と外界像を観察可能であることが望ましい。

【0045】また、プリズム部材に、像形成手段によって形成された像の観察と外界像の観察とを切り替える切替手段を設け、その切替手段によりプリズム部材を移動させるようにしてもよい。

【0046】すなわち、接眼光学系の観察者眼球直前に配置してある第1面と、外界側に配置し主光線の一部が全反射している第3面が観察者視軸付近になるように移動することによって、観察者はまっすぐ正面を向いた場合の視軸の周辺、つまり、視野の中心付近において外界像を観察できるので、画像表示装置を装着したまま観察者の眼の前の外界を確認することができるため、安全性を確保した画像表示装置を実現できる。

【0047】また、電子像を表示したままであれば、接眼光学系を移動したり戻したりすることによって、外界像と電子像を切り替えながら確認することができるので、アプリケーションの幅が広がることとなる。

【0048】この場合、切替手段は、前記像形成手段によって形成された像を観察する際のプリズム部材から観察者眼球に到る光路が、外界像を観察観察する際のプリズム部材から観察者眼球に到る光路と略一致するようにプリズム部材を移動させることが望ましい。

【0049】また、プリズム部材の移動が軸上主光線の光路を含む面に沿った方向に移動するようにすると、移動が直線的になるため、移動機構、装置全体のレイアウトが容易となり、安価な画像表示装置を実現できる。

【0050】また、プリズム部材の移動が視軸に垂直方向への移動可能であると、装置全体のレイアウトや移動機構が容易であるのは言うまでもなく、接眼光学系の移動後も観察者前面への突出量は変わらないので、小型でコンパクトな画像表示装置を提供できる。

【0051】また、プリズム部材が回動可能であると、プリズム部材が容易な回動機構によってプリズム部材を移動することで外界を観察することが可能であるため、機構自体は安価になり、さらに、左右同時に回動するようにすることで、両眼で外界を確認可能なため、安全性も高まり、装置のレイアウトも簡単な構成で実現できる。

【0052】また、本発明のもう1つの像観察装置は、像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも4つ設けられ、かつ、その4つの光学作用面とそれ以外の面で囲まれた間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めて構成され、前記4つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第1面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第2面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第2面に略隣接配置された反射作用を有する第3面と、一方の端部を前記第1面に略隣接させ他方の端部を前記第3面に略近接させるように配置した第4面とからなり、少なくとも前記第3面は全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記第1面と前記単体媒質と前記第3面とを通して外界を観察することが可能な外界観察作用を有するように前記第1面と前記単体媒質と前記第3面とが構成されていることを特徴とするものである。なお、上記において、4つの光学作用面以外の面とは、光学作用のないプリズム側面やカット面を意味する。

【0053】これらの像観察装置においては、観察者眼球直前に配置してある面と前記接眼光学系の外界側に配置してある面を通して外界を観察可能なように構成されている。図7を用いてこの作用効果について説明する。図7は光軸に対して偏心した4つの面3、4、5、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12の断面図であり、図中、1は観察者の瞳、2は観察者視軸、3は接眼光学系12の第1面、4は第2面、5は第3面、6は第4面、7は画像表示素子、12が接眼光学系、15は観察者眼球、16は光学フィルターであり、実際の画像表示素子7からの光線経路は、画像表示素子7を発した光線が、接眼光学系12の第4面6に入射し、第3面5で全反射し、第1面3で全反射し、第2面4で反射され、再び第1面を通過して観察者の瞳1を射出瞳として観察者眼球15に画像を投影している。

【0054】本発明の像観察装置は、第3面5は全反射面であり反射コーティングをしていないため、第3面5と第1面3を透過する外界光は観察者眼球15に到達する。したがって、電子像の観察範囲βと異なる範囲αで外界を観察可能となる。このように、観察者が外界像と電子像を部分領域別に観察できることは、例えば、観察者が観察者視界の中で、上側領域で外界を観察し、下側領域で電子像を同時に観察することができることである。ただし、この部分領域別とは、上下、左右等、観察者が部分的にそれぞれを観察できればどのような方向、領域に分かれていても構わない。このような機能を備えることで、観察者が画像表示装置を装着したまま外界を認識できるため、危険防止と緊急時に対応できる安全な画像表示装置を提供することができる。そのため、画像表示装置としてのアプリケーションの幅が広がることとなる。

【0055】この像形成装置において、像形成手段としては、第4面に像形成画面を対向配置させたCLD、CRT等の画像表示素子（リレー光学系によってリレーされるものは予定していない。）であり、第2面は曲面にて形成されていることが望ましい。

【0056】また、このような像形成装置において、画像表示素子と接眼光学系を観察者眼球前方に保持する作用を持った保持部材を設け、プリズム部材が、画像表示＊素子から射出した光束が、第4面から入射し、その入射光束が第3面で反射され、その反射光束が第1面で反射され、その反射光束が第2面で反射され、その反射光束が第1面から射出されるように構成することにより頭部装着型画像表示装置として構成することができる。

【0057】また、上記の像形成装置において、観察者眼球直前に配置してある面と接眼光学系の外界側に配置してある面は、外界光に対して前記2つの面の任意の場所における合成パワーが略ゼロであるようにすることが望ましい。外界光に対する2つの面の合成パワーが略ゼロであると、外界像の観察する状態が裸眼で観察するのと略同等となり、より自然な外界を観察することができる。したがって、危険防止や緊急時には外界を的確に認識することができるため、非常に安全な画像表示装置を提供することができる。

【0058】この場合、第1面と第3面とが曲面、球面、あるいは、平面にて形成することができる。観察者が外界を観察するとき、外界からの光線は外界側に配置された内部反射面の中、全反射している領域と、観察者眼球直前に配置してある屈折面を透過して観察者瞳に投影される。ここで、この2つの面が非球面ではなく球面とすることで、各面の曲率の変化がないため、軸外においてより自然な外界像を観察することが容易になる。また、観察者眼球直前に配置してある第1面と接眼光学系の外界側に配置してある第3面が平面であると、各面にはパワーがないので自然な外界を観察できる。さらに、その2つの面が観察者視軸に対して垂直であり、互いに平行に配備されている場合には、単に透明の板を通して外界を観察することになるため、非常に自然な外界像を観察することが可能となる。

【0059】これらにおいて、外界光に対する観察者眼球直前に配置してある面と接眼光学系の外界側に配置してある面との任意の場所における合成パワーをϕ_{11}とする場合、

$$-0.5 \leq \phi_{11} \leq 0.5 \quad (1/mm) \qquad \cdots (3)$$

を満たすことが望ましい。ただし、ϕ_{11}は軸上主光線を含む面内のパワーϕ_{11}（yz）とその面に垂直な面内のパワーϕ_{11}（xz）それぞれに対応する。（3）式の条件を満たすことによって、外界光が偏心プリズムを透過する場合の倍率が1近傍に設定することができるため、より自然な外界を観察できる。

【0060】また、以上の像観察装置において、プリズム部材が、像形成手段によって形成された像の観察時及び外界像の観察時の何れの観察においても、同じ位置に固定したものとすることができ、その場合、上記で図7を用いて説明したように、第1面と前記第3面を通して、部分領域別に像形成手段からの像と外界像を観察可能であることが望ましい。

【0061】また、プリズム部材に、像形成手段によって形成された像の観察と外界像の観察とを切り替える切替手段を設け、その切替手段によりプリズム部材を移動させるようにしてもよい。

【0062】すなわち、接眼光学系の観察者眼球直前に配置してある第1面と、外界側に配置し主光線の一部が全反射している第3面が観察者視軸付近になるように移動することによって、観察者はまっすぐ正面を向いた場合の視軸の周辺、つまり、視野の中心付近において外界像を観察できるので、画像表示装置を装着したまま観察者の眼の前の外界を確認することができるため、安全性を確保した画像表示装置を実現できる。

【0063】また、電子像を表示したままであれば、接眼光学系を移動したり戻したりすることによって、外界像と電子像を切り替えながら確認することができるの

15

で、アプリケーションの幅が広がることとなる。

【0064】この場合、観察者眼球直前に配置してある面と接眼光学系の外界側に配置してある面は、外界光に対して2つの面の合成パワーが略ゼロであるようにすることが望ましい。観察者は、外界光に対するその2つの面の合成パワーが略ゼロであると、より自然な外界を観＊

$$-0.5 \leq \phi_{1,1} \leq 0.5 \quad (1/mm)$$

を満たすことが望ましい。ただし、$\phi_{1,1}$は軸上主光線を含む面内のパワー$\phi_{1,1}$（yz）とその面に垂直な面内のパワー$\phi_{1,1}$（xz）それぞれに対応する。（4）式の条件を満たすことによって、外界光が偏心プリズムを透過する場合の倍率を1近傍に設定することができるため、より自然な外界を観察できる。

【0066】この場合、切替手段は、前記像形成手段によって形成された像を観察する際のプリズム部材から観察者眼球に到る光路が、外界像を観察観察する際のプリズム部材から観察者眼球に到る光路と略一致するようにプリズム部材を移動させることが望ましい。

【0067】また、プリズム部材の移動が軸上主光線の光路を含む面に沿った方向に移動するようにすると、移動が直線的になるため、移動機構、装置全体のレイアウトが容易となり、安価な画像表示装置を実現できる。

【0068】また、プリズム部材の移動が視軸に垂直方向への移動可能であると、装置全体のレイアウトや移動機構が容易であるのは言うまでもなく、接眼光学系の移動後も観察者前面への突出量は変わらないので、小型でコンパクトな画像表示装置を提供できる。

【0069】また、プリズム部材が回動可能であると、プリズム部材が容易な回動機構によってプリズム部材を移動することで外界を観察することが可能であるため、機構自体は安価になり、さらに、左右同時に回動するようにすることで、両眼で外界を確認可能なため、安全性も高まり、装置のレイアウトも簡単な構成で実現できる。

【0070】本発明のさらにもう1つの像観察装置は、像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも4つ設けられ、かつ、その4つの光学作用面とそれ以外の面で囲まれた間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めて構成され、前記4つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第1面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第2面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第2面に略隣接配置された反射作用を有する第3面と、一方の端部を前記第1面に略隣接させ他方の端部を

16

＊察でき、危険防止や緊急時に適切に対応でき、非常に安全な画像表示装置を提供することができる。

【0065】そして、外界光に対する観察者眼球直前に配置してある面と接眼光学系の外界側に配置してある面との任意の場所における合成パワーを$\phi_{1,1}$とする場合、

$$\cdots (4)$$

前記第3面に略近接させるように配置した第4面とからなり、少なくとも前記第2面又は前記第3面が全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記全反射作用を有する前記第2面又は前記第3面の全反射作用を生じる領域近傍に観察者の視線を検出する作用を持った視線検出手段を配置したことを特徴とするものである。この場合も、4つの光学作用面以外の面とは、光学作用のないプリズム側面やカット面を意味する。

【0071】以下に、この像観察装置を画像表示装置として構成する場合の作用効果を説明する。視線検出手段を光学系近傍に配置することより、観察者の視線を検出することが可能となっている。ここで、視線検出について、図5、図6を用いて説明する。図5（a）は光軸に対して偏心した3つの面3、4、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12と画像表示素子7からなる画像表示装置の断面図、図5（b）は光軸に対して偏心した4つの面3、4、5、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12と画像表示素子7からなる画像表示装置の断面図であり、また、図6は光軸に対して偏心した4つの面3、4、5、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12と画像表示素子7からなるもう1つの画像表示装置の断面図であり、図中、1は観察者の瞳、2は観察者視軸、3は接眼光学系12の第1面、4は第2面、5は第3面、6は第4面、7は画像表示素子、9は視線検出光学系、10は視線検出器、11は照明手段、12が接眼光学系、15は観察者眼球である。

【0072】図5（a）は、接眼光学系12の偏心プリズムを挟んで観察者眼球15と対向する外界側に視線検出手段9、10を配置した図である。この場合、観察者瞳1の像は、観察者瞳1の直前に配置した第1面3と、接眼光学系12の外界側に配置してある反射面である第2面4とを透過して視線検出手段9、10に入射する必要がある。しかし、接眼光学系12の外界側に配置している第2面4は、反射面なので反射コーティングが施されており、視線検出手段9、10に観察者瞳1の像を導くためには、反射面に反射コーティングしない部分NC（コーティング穴）が必要であり、観察する画像に悪影響を与えることになる。

【0073】図5（b）、図6に本発明の像観察装置で

17

ある画像表示装置を示す。接眼光学系12の外界側に配置してある反射面である第3面5が一部全反射するように設定されている。その全反射部分は、反射コーティングなしであっても画像表示素子7からの光を反射するため反射コーティングが不要になり、観察者瞳1の像は、観察者瞳1の直前に配置した第1面3と接眼光学系の外界側に配置してある第3面5の全反射部分を透過して視線検出手段9、10によって検出することができる。したがって、接眼光学系12の反射面に電子像の観察に悪影響を与えるコーティング穴を作成することなく、視線検出ができる。

【0074】この場合、偏心プリズムの第1面は全反射作用を有することが望ましい。その場合に、視線検出手段は、第2面又は第3面の全反射領域を通過して観察者の視線を検出する位置に配置されていることが望ましい。

【0075】また、観察者眼球を照明する照明手段を有することが望ましい。この画像表示装置は、観察者眼球を照明することより明るい像を検出できるため、観察者の正確な視線が検出可能である。また、照明手段は接眼光学系の外界側に配備されていることが望ましい。図5（a）のように、観察者顔面と接眼光学系12の間の配備されると、眼鏡等に干渉する危惧が生じる。しかしながら、図5（b）のように、照明手段11を接眼光学系12の外界側に配置すると、観察者顔面との干渉を避けて配置することができる。さらに、照明手段11からの照明光を接眼光学系12の反射面の全反射部分を透過するように配備することによって、コーティング穴を作成することなく観察者瞳を照明することができるまた、照明手段は赤外光を用いるものであることが望ましい。電子像を観察することは、即観察者瞳が画像表示素子の光によって照明されていることになる。角膜反射法等の微弱な虚像を取り込んで画像解析する必要のある視線検出手段においては、刻々と照射光量の変化する画像表示素子の光束による反射像を排除する必要がある。通常、画像表示素子はＬＣＤ等であり、放射する光は可視域の波長帯である。したがって、照明手段に赤外光を用いることで、画像表示素子からの光による影響を低減することができる。

【0076】そして、この場合も、接眼光学系と像形成手段と視線検出手段とを観察者顔面に保持する作用を持った保持部材を設けて頭部装着型画像表示装置とすることができる。

【0077】また、以上の像観察装置において、像形成手段と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有するようにすることができる。

【0078】さらに、このような像観察装置の少なくとも2組を一定の間隔で支持する支持手段を設けて両眼で立体像等を観察可能にすることができる。

【0079】次に、本発明による画像表示装置は、画像

18

表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を虚像として観察できるように導く接眼光学系とを有する画像表示装置において、前記接眼光学系は少なくとも2面で形成される空間を屈折率が1より大きい媒質で満たしており、観察者眼球直前に位置している第1面と、前記第1面に対向した反射面である第2面のうち、少なくとも1面が、観察者視軸に対して偏心するかあるいは傾いた曲面で構成された偏心プリズムと、前記第2面の外側に配備され、外界光に対して前記第1面と前記第2面で発生する偏心による収差の補正作用を有する収差補正手段とを含んだ構成を有することを特徴とするものである。

【0080】この画像表示装置においては、観察者眼球直前に位置している第1面と、第1面に対向した反射面である第2面を介して外界像を観察する場合、この2面の中少なくとも1面は観察者視軸に対して偏心あるいは傾いた面であるため、光軸に非対称な偏ったパワーを有するレンズを通して外界を観察しているのと同様になる。そこで、第2面の外界側に偏ったパワーを打ち消すようなフレネルレンズ等の収差補正手段を配置することより、観察者はより自然な外界を観察することが可能となる。さらに、フレネルレンズは非常に薄い光学素子なので、装置を大きくすることなく小型な画像表示装置を提供できる。

【0081】また、本発明において、フレネルレンズは上述した効果が得られるならば他の光学素子、例えば、回折光学素子、ホログラフィック光学素子等に置き換えてもよい。

【0082】なお、フレネルレンズを用いる場合、フレネルレンズの輪帯の中心が、前記画像表示素子からの軸上主光線の光路を含む面内にあり、フレネルレンズが軸上主光線の光路を含む面内において視軸に対し垂直に偏心していることが望ましい。フレネルレンズは軸対称の形状であれば、製作性に優れ、コストも低くできる。軸対称のパワーを有するフレネルレンズを軸上主光線の光路を含む面内において視軸に対し偏心させて配備させることによって、外界光に対して第1面と第2面で発生する偏心による収差をより良好に補正することが可能になる。

【0083】また、フレネルレンズの輪帯の中心が、前記軸上主光線の光路を含む面上にあり、前記フレネルレンズが視軸に対して傾いて配置され、その傾き方向が第2面の面形状に沿うような方向に配置するようにしてもよい。フレネルレンズを第2面の面形状に沿うように配置することは、観察者視軸に対して傾いて配置することとなる。したがって、光軸に非対称な偏ったパワーに設定することが可能となり、外界光に対して第1面と第2面で発生する偏心による収差をより良好に補正することが可能になる。さらに、観察者に対しての突出量や、接眼光学系とフレネルレンズの間の空間が減り、無駄のな

い非常にコンパクトな画像表示装置を提供することができる。

【0084】本発明のもう1つの画像形成装置は、画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を虚像として観察できるように導く接眼光学系とを有する画像表示装置において、前記接眼光学系は、少なくとも3面で形成される空間を屈折率が1より大きい媒質で満たしており、前記少なくとも3面は、観察者眼球直前に位置している屈折及び内部反射面と、前記屈折及び内部反射面に対向し前記接眼光学系の外界側に配置された外界側内部反射面と、前記画像表示素子の発する光束を入射する屈折面とからなり、その中の少なくとも1面が、観察者視軸に対して偏心あるいは傾いた面で構成され、少なくとも3回の内部反射をしている偏心プリズムと、前記観察者眼球直前に位置している屈折及び内部反射面と前記外界側内部反射面とを介して外界を観察する場合、外界光に対して前記2面で発生するパワーを打ち消す作用を有する第2光学素子とからなり、前記第2光学素子は前記外界側内部反射面の外界側に配置されていることを特徴とするものである。

【0085】観察者眼球直前に位置している第1面と、第1面に対向した反射面である第2面を介して外界像を観察する場合、この2面の中少なくとも1面は観察者視軸に対して偏心あるいは傾いた面であるため、各像高によって異なる偏ったパワーを有するレンズを通して外界を観察しているのと同様になる。そこで、外界光に対して上記の2面で発生する偏ったパワーを打ち消す作用を有する第2光学素子を接眼光学系の外界側に配置することより、観察者はより自然で広範囲な外界像を観察することができる。したがって、危険防止と緊急時対応ができ、安全な画像表示装置を提供することができる。

【0086】この場合、接眼光学系は、4面で形成される空間を屈折率が1より大きい媒質で満たされ、その4面は、観察者眼球側に位置している屈折面かつ反射面である第1面、第1面に対向した反射面である第2面、第1面に対向し第2面に隣接した反射面である第3面、画像表示素子に最も近接している屈折面である第4面で構成され、少なくとも1面が観察者視軸に対して偏心するかあるいは傾いた面を含む偏心プリズムからなっていてもよい。接眼光学系がこのように4面で構成されている場合、第1面と第2面を透過した外界光によって外界を認識する。その場合、第2面を網羅する領域においてのみ偏ったパワーを打ち消す作用を有する第2光学素子を配置することで、接眼光学系全体は大型化せずに付加機能を実現することが可能となる。

【0087】また、第1面と第2面と第2光学素子、若しくは、第1面と第3面と第2光学素子を介して外界を観察できるように、少なくとも1つの第2光学素子を第2面又は第3面の外界側に配置することが望ましい。第2面の外界側に偏ったパワーを打ち消す作用を有する第

2光学素子を配備することで、電子像を観察する領域と略同じ領域において自然な外界像を観察することができる。また、同様に、第3面の外界側に偏ったパワーを打ち消す作用を有する第2光学素子を配置することより電子像とは異なる領域においても自然な外界を観察できる。さらに、2つの第2光学素子を同時に第2面と第3面の外界側に配置することより、観察者は第1面と第2面及び第1面と第3面を透過する外界像を全て観察することができる。したがって、電子像の観察画角よりも外界観察画角が広がり、自然で広範囲な外界像を観察することができる。これにより、危険防止と緊急時の適切な対応ができ、非常に安全な画像表示装置を提供することができる。

【0088】また、第2光学素子は、外界光に対する第1面と第2面、若しくは、第1面と第3面のそれぞれの合成パワーを同時に打ち消す作用を有することが望ましい。外界光に対する第1面と第2面、第1面と第3面のそれぞれの合成パワーを同時に打ち消す作用を有する第2光学素子を1つの光学素子で構成し、接眼光学系の外界側に配置することで広範囲の外界を観察できる。この第2光学素子は同時にそれぞれの合成パワーを打ち消すので、外界像に切れ目が入らずより自然に観察ができる。したがって、1個の光学素子で広い範囲の外界を認識でき、コスト的にも安価で危険防止と緊急時対応ができ、安全性もいっそう高まった画像表示装置を提供することができる。

【0089】また、以上において、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有するようにすることができる。画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有することより、観察者は安定した電子像を観察することが可能となる。

【0090】また、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、観察者頭部に装着できるようにすることができる。画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、観察者頭部に装着できるようにしたことによって、観察者は自由な観察姿勢や、観察方向で電子像を観察することが可能となる。

【0091】さらに、画像表示装置の少なくとも2組を一定の間隔で支持する支持手段を有するようにすることもできる。少なくとも2組を一定の間隔で支持する支持手段を有することによって、観察者は左右両眼で楽に観察することが可能となる。また、左右の電子像に視差を与えた画像を表示し、両眼でそれらを観察することによって立体像を楽しむことが可能となる。

【0092】また、以上の画像表示装置における接眼光学系を結像光学系として用いることが可能である。接眼光学系における画像表示面を像面として、無限遠の物体を結像させるように構成することで、図24に示すよう

なカメラのファインダー光学系等の結像光学系として利用することが可能である。

【0093】なお、本発明において、第2面と第3面とを同一面にて兼用させることができる。その場合、物理的な面の数を1面減少させることができるため、光学設計上、及び、プリズムの生産上、工程が簡略化でき、量産性並びに価格の低減に寄与できる。さらに、物理的に1つの面に第2面作用と第3面作用とを併せ持つように兼用させ、かつ、光束が内部反射する領域を一部オーバーラップさせるようにすれば、プリズム部材の小型化が実現でき望ましい。

【0094】

【発明の実施の形態】以下に、本発明による画像表示装置の実施例1～17について説明する。後述する各実施例の構成パラメータにおいては、代表的に図1に示すように、接眼光学系12の射出瞳1を光学系の原点として、光軸2を画像表示素子7の表示中心と射出瞳1の中心（原点）とを通る光線で定義し、射出瞳1から光軸2の進む方向をZ軸方向、このZ軸に直交し射出瞳1中心を通り、光線が接眼光学系12によって折り曲げられる面内の方向をY軸方向、Z軸、Y軸に直交し射出瞳1中心を通る方向をX軸方向とし、射出瞳1から接眼光学系12に向かう方向をZ軸の正方向、光軸2から画像表示素子7方向をY軸の正方向、そして、これらZ軸、Y軸と右手系を構成する方向をX軸の正方向とする。なお、光線追跡は接眼光学系12の射出瞳1の側を物体側として、画像表示素子7側を像面側とした逆光線追跡により行っている。

【0095】そして、偏心量Y、Z、傾き量θが記載されている面については、構成パラメータ中に特に記載のない限り（実施例6、9には記載あり）、光学系の原点である射出瞳1からのY方向、Z方向へのずれ量及び面の中心軸のZ軸に対する傾き角を表している。なお、傾き角は反時計回りの方向を正としている。また、基準面を特に記載している場合は、その基準面の面頂からの同様のずれ量及び傾き角を表している。

【0096】また、後述する構成パラメータ中に、同軸部分の面間隔については間隔として示してある。その他、球面の曲率半径、媒質の屈折率、アッベ数を慣用法に従って示してある。

【0097】図1～図4、図5（b）～図17は本発明の実施例1～4、5～17の画像表示装置の光軸を含む断面図であり、図1～図4、図5（b）～図11、図15～図16の実施例においては、光軸に対して偏心した4つの面3、4、5、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12からなり、また、図17の実施例においては、光軸に対して偏心した3つの面3、4、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12からなる。各図中、1は観察者の瞳、2は観察者視軸、3は接眼光学系12の第1面、4は第2面、5は第3面、6は第4面、7は画像表示素子、8はフレネルレンズ、9は視線検出光学系、10は視線検出器、11は照明手段、12は接眼光学系（偏心プリズム）、13、14は第2光学素子、15は観察者眼球、16は光学フィルター、17はリニアモーター、18は光学素子に設けられた突出部、19は外装部に設けられたガイド（レール）であり、電子像を観察する場合の実際の光線経路は、図1～図4、図5（b）～図11、図15～図16の実施例においては、画像表示素子7の電子像から発した光線は、接眼光学系12の画像表示素子7と対面している屈折面である第4面6に入射し、観察者顔面の反対側に位置する2面4、5の中、第4面6に隣接する第3面5で観察者瞳1側に反射し、観察者瞳1の直前に配置している第1面3で観察者瞳1から遠ざかる方向に反射し、観察者顔面の反対側に位置する2面4、5の中、観察者瞳1の直前に配置している第2面4で観察者瞳1側に反射をし、第1面3を透過して観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球15内に投影される。また、図17の実施例17においては、画像表示素子7の電子像から発した光線は、接眼光学系12の画像表示素子7と対面している屈折面である第4面6に入射し、観察者顔面の反対側に位置する第3面5を兼用した第2面4の第4面6に隣接する領域（第3面5）で観察者瞳1側に反射し、観察者瞳1の直前に配置している第1面3で観察者瞳1から遠ざかる方向に反射し、観察者顔面の反対側に位置し第2面4の第4面6から遠い領域で観察者瞳1側に反射をし、第1面3を透過して観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球15内に投影される。

【0098】図5（b）、図6に示したものは、視線検出手段を有する本発明の画像表示装置の実施例である。接眼光学系12の外界側に配置してある反射面である第3面5が一部全反射するように設定されている。その全反射部分は、反射コーティングなしであっても画像表示素子7からの光を反射するため反射コーティングが不要になり、また、視線検出する場合の実際の光線経路は、光源11からの照明光は、接眼光学系12の第3面5と第1面3を透過して観察者眼球15を照明し、そこで反射した光線が観察者瞳1の直前に配置してある第1面3に入射し、観察者顔面の反対側に位置する第3面5の少なくとも一部の全反射している領域を透過して視線検出用光学系9により視線検出器10に導かれ、観察者瞳1の像を形成する。ここで、電子像等の光による影響を低減するため、赤外光の照明11や、赤外光を検出する検出器10を用いても当然よい。さらに、照明手段11の位置は、図示した場所以外でも観察者眼球15が照明できれば何れの場所でも構わない。

【0099】また、図18は、実施例17のように光軸に対して偏心した3つの面3、4、6からなる接眼光学

系12の場合に、視線検出用光学系9、視線検出器10、光源11からなる同様な視線検出手段を設けた場合の断面図である。視線検出する場合の実際の光線経路は、図5（b）、図6と同様であるので説明は省く。

【0100】図7に示したものは、接眼光学系12によって電子像と外界像を同時に観察することが可能な本発明の画像表示装置の実施例である。外界像を観察する場合の実際の光線経路は、外界の物点からの光線が第3面5から入射し、第1面3を透過して、観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球内に投影される。さらに、第3面5の外界側に、外界光の光量を調節する減光フィルター若しくは光学素子16を配置することより、観察者が電子像、外界像の両方あるいは片方を観察しやすいようにすることも可能である。また、減光フィルターあるいは光学素子16を観察範囲αとβとの間で移動可能にすることで、電子像、外界像の何れかの光量を調整するようにすることができる。

【0101】図8、図9に示したものは、接眼光学系12を移動することによって外界像を観察することができる本発明の別の画像表示装置の実施例である。図8では、図8（a）の電子像観察位置から接眼光学系12を観察者瞳に対して負のY方向に移動することより、図8（b）の外界像観察位置となり、図9では、図9（a）の電子像観察位置から接眼光学系12を観察者瞳1に対して時計周りに回転することより、図9（b）の外界像観察位置となる。したがって、何れも接眼光学系12を通して観察者の視軸方向で外界を観察することが可能となる。外界の物点からの光線は、第3面5から入射し、第1面3を透過して観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球内に投影される。さらに、図8（b）において、観察者は、電子像を観察者視軸2より下の領域で観察できる。ここで、電子像の観察方向は、接眼光学系12の配置の仕方や移動方向により異なるので如何なる方向でも構わない。

【0102】なお、図8（c）、図9（c）には、接眼光学系12の移動機構の例を示してある。何れの場合も、光学素子に設けられた突出部18を介してリニアモーター17により、接眼光学系12を外装部に設けられたガイド（レール）19に沿って移動させればよい。図8（c）の場合はガイド（レール）19が直線であり、図9（c）の場合はガイド（レール）19が円弧であるので、それぞれ直線移動と回転が行われる。

【0103】なお、図19に、実施例17のように光軸に対して偏心した3つの面3、4、6からなる接眼光学系12の場合に、図8の実施例と同様に、電子像観察位置から接眼光学系12を観察者瞳に対して負のY方向に移動することより外界像観察位置となる例を示してある。その作用は図8と同様であるので、説明は省く。

【0104】図10〜図14に示したものは、外界像を観察する光路中に収差補正手段であるフレネルレンズ8

を配置する本発明の画像表示装置の実施例である。外界像を観察する場合の実際の光線経路は、外界の物点からの光線は、フレネルレンズ8を透過して第2面4より偏心プリズムに入射し、第1面3を透過して、観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球内に投影される。ここで、フレネルレンズ8は、外界を観察する場合に所定の位置に配置してあればよく、外界を観察しないときは上下移動や回転移動等の移動機構によって別の位置に配備されるか、又は、取り外し可能に構成しても構わない。

【0105】図10〜図14中、図10〜図11の場合は、図1等と同様に、接眼光学系（偏心プリズム）12は光軸に対して偏心した4つの面3、4、5、6からなり、電子像観察時は同様の光線経路をたどるが、図12の偏心プリズム12は、光軸に対して偏心した3つの面3、4、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12からなり、電子像を観察する場合の実際の光線経路は、画像表示素子7の電子像から発した光線は、接眼光学系12の画像表示素子7と対面している屈折面である第4面（順番から言えば第3面となる）6に入射し、観察者瞳1の直前に配置してある第1面3で観察者瞳1から遠ざかる方向に反射し、観察者顔面の反対側に位置する第2面4で観察者瞳1側に反射をし、第1面3を透過して観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球15内に投影される。

【0106】また、図13の偏心プリズム12は、光軸に対して偏心した3つの面3、4、6によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12からなり、電子像を観察する場合の実際の光線経路は、画像表示素子7の電子像から発した光線は、接眼光学系12の画像表示素子7と対面している屈折面である第4面（順番から言えば第3面となる）6に入射し、観察者顔面の反対側に位置する第2面4で観察者瞳1側に反射をし、第1面3を透過して観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球15内に投影される。

【0107】また、図14の偏心プリズム12は、光軸に対して偏心した2つの面3、4によって形成された空間を屈折率が1より大きい媒質によって満たされた偏心プリズム12からなり、電子像を観察する場合の実際の光線経路は、画像表示素子7の電子像から発した光線は、接眼光学系12の画像表示素子7と対面している屈折面である第1面3に入射し、観察者顔面の反対側に位置する第2面4で観察者瞳1側に反射をし、第1面3を透過して観察者の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球15内に投影される。

【0108】次に、図15、図16に示したものは、外界像を観察する光路中に接眼光学系12の観察者眼球直前に位置している第1面3と外界側内部反射面である第

2面4又は第3面5とを介して外界を観察する場合、外界光に対してその2面3、4又は3、5で発生するパワーを打ち消す作用を有する第2光学素子13、14を配置する本発明の画像表示装置の実施例である。外界像を観察する場合の実際の光線経路は、外界の物点からの光線は、第2光学素子13あるいは別の第2光学素子14を透過して、第2面4あるいは第3面5から偏心プリズム12に入射し、第1面3を透過して観察者の虹彩位置＊

$$Z=(h^2/R)/[1+\{1-(1+K)(h^2/R^2)\}^{1/2}]+Ah^4+Bh^6+Ch^8+Dh^{10}\cdots \quad (h^2=x^2+y^2) \quad \cdots(a)$$

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのずれ量、Kは円錐係数、A，B，C，Dはそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。

※

$$Z=(CX\cdot x^2+CY\cdot y^2)/[1+\{1-(1+K_x)CX^2\cdot x^2-(1+K_y)CY^2\cdot y^2\}^{1/2}]+\sum_{n=1} R_n\{(1-P_x)x^2+(1+P_n)y^2\}^{n+1}$$

例として、m＝4（4次項）までを考えると、展開したときに以下の式で表せる。

★

$$Z=(CX\cdot x^2+CY\cdot y^2)/[1+\{1-(1+K_x)CX^2\cdot x^2-(1+K_y)CY^2\cdot y^2\}^{1/2}]+R_1\{(1-P_1)x^2+(1+P_1)y^2\}^2+R_2\{(1-P_2)x^2+(1+P_2)y^2\}^3+R_3\{(1-P_3)x^2+(1+P_3)y^2\}^4+R_4\{(1-P_4)x^2+(1+P_4)y^2\}^5 \quad \cdots(b)$$

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのずれ量、CXはX軸方向曲率、CYはY軸方向曲率、K_nはX軸方向円錐係数、K_yはY軸方向円錐係数、R_nは非球面項回転対称成分、P_nは非球面項回転非対称成分である。なお、後記する実施例の構成パラメータでは、

R_x：X軸方向曲率半径

R_y：Y軸方向曲率半径

を用いており、曲率CX、CYとの間には、

$R_x=1/CX$，$R_y=1/CY$

の関係にある。

$$Z=C_2+C_3Y+C_4X+C_5Y^2+C_6YX+C_7X^2+C_8Y^3+C_9Y^2X+C_{10}YX^2+C_{11}X^3+C_{12}Y^4+C_{13}Y^3X+C_{14}Y^2X^2+C_{15}YX^3+C_{16}X^4+C_{17}Y^5+C_{18}Y^4X+C_{19}Y^3X^2+C_{20}Y^2X^3+C_{21}YX^4+C_{22}X^5+C_{23}Y^6+C_{24}Y^5X+C_{25}Y^4X^2+C_{26}Y^3X^3+C_{27}Y^2X^4+C_{28}YX^5+C_{29}X^6+C_{30}Y^7+C_{31}Y^6X+C_{32}Y^5X^2+C_{33}Y^4X^3+C_{34}Y^3X^4+C_{35}Y^2X^5+C_{36}YX^6+C_{37}X^7 \quad \cdots(c)$$

＊又は眼球の回旋中心を射出瞳1として観察者の眼球内に投影される。

【0109】なお、本発明は図1〜図4、図5（b）〜図19の光学系に限定されるものではなく、公知のその他の光学系に適用できるものである。

【0110】以下の各実施例の構成パラメータ中、回転対称な非球面形状は、近軸曲率半径をRとすると、次の式で与えられる。Z軸が回転対称な非球面の軸となる。

※【0111】また、アナモルフィック面の形状は以下の式により定義する。面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がアナモルフィック面の軸となる。

【0112】

★

【0113】また、自由曲面の面の形状は以下の式により定義する。その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

$$Z=\sum_{n=0}^{k}\sum_{m=0}^{k} C_{nm}X^m Y^{n-m}$$

例として、k＝7（7次項）を考えると、展開したときに以下の式で表せる。

【0114】

なお、本発明の実施例においては、X方向に対称な光学系として設計したので、X奇数項の係数は0とした（上記でいえば、C_4，C_6，C_8……＝0）。

【0115】なお、後記の構成パラメータ中、データの記載されていない非球面に関する項は0である。屈折率については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0116】実施例1～4、5～17の光軸Zを含むY－Z断面図をそれぞれ図1～図4、図5（b）～図17に示す。実施例1～11、13、14の観察画角は、水平画角30.0°、垂直画角22.72°、実施例12の観察画角は、水平画角40.0°、垂直画角30.53°、実施例15、16の観察画角は、水平画角35.0°、垂直画角26.60°、瞳径は実施例1～16共＊

＊に4mmである。

【0117】以下に、上記実施例1～6、9～14、17の構成パラメーター及び条件式の値を示す。実施例7、8は実施例3と同じであるので省く。また、実施例10、11の画像表示素子観察時の構成パラメーターは実施例5と同じであるので、外界観察時の構成パラメーターを示す。また、実施例12の画像表示素子観察時の構成パラメーターを実施例12（1）として、外界観察時の構成パラメーターを実施例12（2）として示す。なお、表中、“ASPH”は非球面、“ANAM”はアナモルフィック面、“SF”は面、“REFL”は反射面を示す。

【0118】

実施例1

面番号		曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1		∞（瞳）			
2 ASPH		∞		1.5254	56.25
(1ST SF)	K	0.0000		Y 18.114 θ 4.44°	
	A	0.0000		Z 37.091	
	B	0.0000			
	C	1.1599×10^{-13}			
	D	4.4930×10^{-19}			
3 ANAM	R_y	-142.541		1.5254	56.25
(2ND SF)	R_x	-122.057		Y 3.041 θ -17.79°	
(REFL)	K_y	-5.4587		Z 52.132	
	K_x	-0.2658			
	R_1	-5.0900×10^{-10}			
	R_2	3.0528×10^{-10}			
	R_3	6.2600×10^{-13}			
	R_4	4.9434×10^{-18}			
	P_1	$-1.1948\times10^{+1}$			
	P_2	2.3791×10^{-1}			
	P_3	4.8713×10^{-1}			
	P_4	3.3074×10^{-1}			
4 ASPH		∞		1.5254	56.25
(1ST SF)	K	0.0000		Y 18.114 θ 4.44°	
(REFL)	A	0.0000		Z 37.091	
	B	0.0000			
	C	1.1599×10^{-13}			
	D	4.4930×10^{-19}			
5		∞		1.5254	56.25
(3RD SF)				Y 18.114 θ 4.44°	
(REFL)				Z 53.503	
6 ANAM	R_y	47.391		Y 41.220 θ -55.16°	
(4TH SF)	R_x	86.005		Z 47.787	
	K_y	1.9910			
	K_x	-0.1607			
	R_1	1.1694×10^{-7}			

	R_2	-2.2052×10^{-10}		
	R_3	-1.8410×10^{-11}		
	R_4	-4.2076×10^{-14}		
	P_1	-6.2804		
	P_2	-4.0710		
	P_3	4.2066×10^{-1}		
	P_4	5.1697×10^{-1}		
7		∞	Y 40.079 θ -25.63°	
(画像表示面)			Z 38.041	

(1) θ_{r3}=43.85°

(3) $\phi_{t1}(yz)=0$ (1/mm)

$\phi_{t1}(xz)=0$ (1/mm)

【0119】

実施例2

面番号	曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1	∞（瞳）			
2	自由曲面①		1.5000	55.55
(1ST SF)			Y 8.738 θ -0.43°	
			Z 38.294	
3	自由曲面②		1.5000	55.55
(2ND SF)			Y 0.000 θ -26.39°	
(REFL)			Z 47.232	
4	自由曲面①		1.5000	55.55
(1ST SF)			Y 8.738 θ -0.43°	
(REFL)			Z 38.294	
5	自由曲面③		1.5000	55.55
(3RD SF)			Y 28.900 θ 4.00°	
(REFL)			Z 51.503	
6	自由曲面④		1.5000	55.55
(4TH SF)			Y 37.094 θ -42.91°	
			Z 43.146	
7	∞		Y 39.222 θ -39.45°	
(画像表示面)			Z 41.032	

自由曲面①

C_4 -4.3507×10^{-4}	C_7 -8.3810×10^{-3}	C_8 -7.2048×10^{-5}
C_{10} -1.6070×10^{-4}	C_{12} -5.7849×10^{-7}	C_{14} -7.6285×10^{-7}
C_{16} 2.6344×10^{-6}	C_{17} -7.4711×10^{-9}	C_{19} -1.9337×10^{-6}
C_{21} 9.3990×10^{-8}		

自由曲面②

C_4 -4.4978×10^{-3}	C_7 -8.5757×10^{-3}	C_8 -6.4211×10^{-5}
C_{10} -3.1176×10^{-5}	C_{12} 1.3495×10^{-6}	C_{14} 4.8979×10^{-6}
C_{16} -2.4100×10^{-6}	C_{17} -4.2204×10^{-6}	C_{19} -3.8212×10^{-6}
C_{21} -9.1979×10^{-9}		

自由曲面③

C_4 -4.6997×10^{-4}	C_7 -3.2125×10^{-3}	C_8 -8.6078×10^{-5}
C_{10} -1.0181×10^{-4}	C_{12} -2.7248×10^{-6}	C_{14} 2.7277×10^{-6}
C_{16} 3.7002×10^{-6}	C_{17} -3.1103×10^{-6}	C_{19} 1.0092×10^{-6}
C_{21} 2.0208×10^{-7}		

自由曲面④

31

C_4 3.8887×10^{-3} C_7 8.3763×10^{-3} C_8 -8.9771×10^{-4}
C_{10} 5.0916×10^{-4} C_{12} -5.7678×10^{-5} C_{14} 4.5123×10^{-7}
C_{16} -2.3865×10^{-6}
(1) θ_{r3}=48.44°
(3) ϕ_{t1} (yz) =−0.0037 (1/mm)
ϕ_{t1} (xz) =−0.0072 (1/mm)

32

【0120】

実施例3

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)			
2		∞		1.5254	56.25
(1ST SF)				Y -27.000	θ 0.00°
				Z 37.395	
3 ANAM	R_y	-143.929		1.5254	56.25
(2ND SF)	R_x	-123.293		Y -14.868	θ -28.80°
(REFL)	K_y	0.3713		Z 42.871	
	K_x	-1.9942			
	R_1	2.1403 ×10^{-6}			
	R_2	9.6413 ×10^{-13}			
	R_3	6.3684 ×10^{-14}			
	R_4	-1.2452 ×10^{-17}			
	P_1	-3.9989 ×10^{-3}			
	P_2	-3.0463			
	P_3	2.5677 ×10-1			
	P_4	4.2810 ×10-1			
4		∞		1.5254	56.25
(1ST SF)				Y -27.000	θ 0.00°
(REFL)				Z 37.395	
5		∞		1.5254	56.25
(3RD SF)				Y 0.079	θ 0.00°
(REFL)				Z 53.539	
6 ANAM	R_y	39.861		Y 44.498	θ -66.77°
(4TH SF)	R_x	62.319		Z 51.066	
	K_y	1.5656			
	K_x	4.2425			
	R_1	3.9064 ×10^{-6}			
	R_2	5.0520 ×10^{-10}			
	R_3	4.9921 ×10^{-13}			
	R_4	-6.6158 ×10^{-15}			
	P_1	-1.5408 ×10^{-1}			
	P_2	4.0979			
	P_3	1.6631			
	P_4	1.0506			
7		∞		Y 42.800	θ -21.40°
(画像表示面)				Z 38.475	

(1) θ_{r3}=44.53°
(3) ϕ_{t1} (yz) =0 (1/mm)
ϕ_{t1} (xz) =0 (1/mm)

【0121】

33

実施例4

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)			
2 ANAM	R_y	-242.348		1.5254	56.25
(1ST SF)	R_x	-159.768		Y 5.082	θ -3.86°
	K_y	13.1104		Z 33.396	
	K_x	4.7358			
	R_1	-2.5719 ×10^{-10}			
	R_2	-4.9792 ×10^{-13}			
	R_3	8.8695 ×10^{-13}			
	R_4	6.7191 ×10^{-20}			
	P_1	-1.8150 ×10^{+1}			
	P_2	-4.7838			
	P_3	-1.2978			
	P_4	-7.1284			
3 ANAM	R_y	-119.562		1.5254	56.25
(2ND SF)	R_x	-98.451		Y 27.149	θ -11.26°
(REFL)	K_y	-0.1186		Z 52.500	
	K_x	0.7866			
	R_1	-1.6969 ×10^{-6}			
	R_2	-6.2266 ×10^{-11}			
	R_3	8.5459 ×10^{-14}			
	R_4	8.0888 ×10^{-16}			
	P_1	-1.8331			
	P_2	-4.9789 ×10^{-1}			
	P_3	-2.3604			
	P_4	-9.6450 ×10^{-1}			
4 ANAM	R_y	-242.348		1.5254	56.25
(1ST SF)	R_x	-159.768		Y 5.082	θ -3.86°
(REFL)	K_y	13.1104		Z 33.396	
	K_x	4.7358			
	R_1	-2.5719 ×10^{-10}			
	R_2	-4.9792 ×10^{-13}			
	R_3	8.8695 ×10^{-13}			
	R_4	6.7191 ×10^{-20}			
	P_1	-1.8150 ×10^{+1}			
	P_2	-4.7838			
	P_3	-1.2978			
	P_4	-7.1284			
5 ANAM	R_y	-179.007		1.5254	56.25
(3RD SF)	R_x	-231.111		Y 27.820	θ 1.74°
(REFL)	K_y	2.2288		Z 47.835	
	K_x	-72.7188			
	R_1	6.1912 ×10^{-6}			
	R_2	-8.4470 ×10^{-13}			
	R_3	2.8064 ×10^{-15}			
	R_4	2.0069 ×10^{-16}			
	P_1	2.0705 ×10^{-3}			

34

35

P_2 6.7667
P_3 -5.5003
P_4 -4.0534
6 ANAM R_y 72.293
(4TH SF) R_x 39.167
K_y -1.0213
K_x -7.8305
R_1 -7.5404 ×10⁻⁷
R_2 -5.8510 ×10⁻¹⁰
R_3 5.8345 ×10⁻¹³
R_4 1.5291 ×10⁻¹⁸
P_1 -1.2077 ×10⁻¹
P_2 2.1174 ×10⁻²
P_3 2.9220 ×10⁻¹
P_4 -1.4518
7 ∞
(画像表示面)
(1) θ_{r3}=42．75°
(3) ϕ_{t1} (yz) =0．0008 (1/mm)
ϕ_{t1} (xz) =−0．001 (1/mm)

36

Y 42.328 θ -42.24°
Z 43.924
Y 42.878 θ -19.36°
Z 30.211

【0122】

実施例5

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	-104.851		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 2.540 θ	-7.02°
			Z 33.527	
3 ANAM	R_y -54.751		1.5254	56.25
(2ND SF)	R_x -62.006		Y -19.747 θ	-48.21°
(REFL)	K_y -1.3614		Z 30.166	
	K_x 0.1944			
	R_1 2.4430 ×10⁻¹⁰			
	R_2 -1.1189 ×10⁻¹⁰			
	R_3 -2.4892 ×10⁻¹⁶			
	R_4 1.9084 ×10⁻²²			
	P_1 -2.7674 ×10⁺¹			
	P_2 5.3845 ×10⁻¹			
	P_3 -4.1468			
	P_4 1.0048 ×10⁺¹			
4	-104.851		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 2.540 θ	-7.02°
(REFL)			Z 33.527	
5 ANAM	R_y -8201.935		1.5254	56.25
(3RD SF)	R_x 1243.857		Y -37.487 θ	4.95°
(REFL)	K_y 0.0000		Z 53.061	
	K_x 0.0000			
	R_1 9.7227 ×10⁻⁸			
	R_2 1.2246 ×10⁻¹²			
	R_3 -1.5956 ×10⁻¹⁶			

37

R_4 6.7677 ×10⁻²¹
P_1 8.5858 ×10⁻¹
P_2 -4.4664
P_3 1.9991
P_4 2.2019
6 46.674
7 ∞
(画像表示面)
(1) θ_{r3}=36．51°

38

Y 28.160 θ -29.19°
Y 31.783 θ -26.08°
Z 35.135

【0123】

実施例6

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	∞		Y 0.000 θ	20.00°
(仮想面)			Z 0.000	
3	∞		1.5254	56.25
(1ST SF)			(仮想面から)	
			Y 0.000 θ	0.00°
			Z 40.495	
4 ANAM	R_y -146.661		1.5254	56.25
(2ND SF)	R_x -131.087		(仮想面から)	
(REFL)	K_y -0.1158		Y -23.006 θ	-32.35°
	K_x -0.6570		Z 49.040	
	R_1 1.4710 ×10⁻⁶			
	R_2 2.4181 ×10⁻¹⁰			
	R_3 8.0445 ×10⁻¹⁴			
	R_4 -1.0655 ×10⁻¹⁸			
	P_1 -6.7968 ×10⁻¹			
	P_2 1.1524 ×10⁻²			
	P_3 9.6151 ×10⁻¹			
	P_4 5.6260 ×10⁻¹			
5	∞		1.5254	56.25
(1ST SF)			(仮想面から)	
(REFL)			Y 0.000 θ	0.00°
			Z 40.495	
6	∞		1.5254	56.25
(3RD SF)			(仮想面から)	
(REFL)			Y 0.000 θ	0.00°
			Z 56.475	
7 ANAM	R_y 70.881		(仮想面から)	
(4TH SF)	R_x 99.816		Y 30.811 θ	-80.98°
	K_y 6.0488		Z 62.245	
	K_x 7.1388			
	R_1 1.8385 ×10⁻⁵			
	R_2 1.8499 ×10⁻¹⁰			
	R_3 -3.4116 ×10⁻¹²			
	R_4 -7.2747 ×10⁻¹⁵			
	P_1 3.3823 ×10⁻¹			

P_2 3.8697
P_3 9.0201 ×10⁻¹
P_4 1.1638 ×10⁻¹

8 ∞ Y 40.634 θ -2.65°
Z 30.403
(画像表示面)
(1) θ_{r3}=46.70°
(3) ϕ_{t1}(yz)=0 (1/mm)
ϕ_{t1}(xz)=0 (1/mm)

【0124】

実施例9

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	∞		Y 0.000 θ 15.00°	
(仮想面)			Z 0.000	
3	-221.433		1.5254	56.25
(1ST SF)			(仮想面から)	
			Y 0.000 θ 0.00°	
			Z 38.879	
4	-106.803		1.5254	56.25
(2ND SF)			(仮想面から)	
(REFL)			Y -16.310 θ -30.86°	
			Z 48.157	
5	-221.433		1.5254	56.25
(1ST SF)			(仮想面から)	
(REFL)			Y 0.000 θ 0.00°	
			Z 38.879	
6	-208.964		1.5254	56.25
(3RD SF)			(仮想面から)	
(REFL)			Y 0.000 θ 0.00°	
			Z 55.417	
7	154.685		(仮想面から)	
(4TH SF)			Y 22.393 θ -20.71°	
			Z 41.581	
8	∞		Y 39.534 θ -5.00°	
(画像表示面)			Z 37.732	
(1) θ_{r3}=41.68°				
(3) ϕ_{t1}(yz)=0.00024 (1/mm)				
ϕ_{t1}(xz)=0.00024 (1/mm)				

【0125】

実施例10

面 号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	-104.851		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 2.540 θ -7.02°	
			Z 33.527	
3 ANAM	R_y -54.751		Y -19.747 θ -48.21°	
(2ND SF)	R_x -62.006		Z 30.167	
(REFL)	K_y -1.3614			

K_x 0.1944
R_1 2.4430 ×10⁻¹⁰
R_2 -1.1189 ×10⁻¹⁰
R_3 -2.4892 ×10⁻¹⁸
R_4 1.9084 ×10⁻²²
P_1 -2.7674 ×10⁺¹
P_2 5.3845 ×10⁻¹
P_3 -4.1468
P_4 1.0048 ×10⁺¹

4 ∞ 2.000 1.4922 57.50
(フレネルレンズ第1面) Y 45.000 θ 0.00°
Z 51.527

5 ∞
(フレネルレンズ第2面)
K 0.0000
A 2.0658 ×10⁻⁴
B -4.2780 ×10⁻¹⁰
C 3.2196 ×10⁻¹⁴
D 2.1256 ×10⁻¹⁸

【0126】

実施例11

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)			
2	-104.851		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 2.540 θ -7.02°	
			Z 33.527	
3 ANAM	R_y -54.751		Y -19.747 θ -48.21°	
(2ND SF)	R_x -62.006		Z 30.166	
(REFL)	K_y -1.3614			
	K_x 0.1944			
	R_1 2.4430 ×10⁻¹⁰			
	R_2 -1.1189 ×10⁻¹⁰			
	R_3 -2.4892 ×10⁻¹⁸			
	R_4 1.9084 ×10⁻²²			
	P_1 -2.7674 ×10⁺¹			
	P_2 5.3845 ×10⁻¹			
	P_3 -4.1468			
	P_4 1.0048 ×10⁺¹			
4	∞	2.000	1.4922	57.50
(フレネルレンズ第1面)			Y 30.000 θ -22.00°	
			Z 53.527	
5	∞			
(フレネルレンズ第2面)				
	K 0.0000			
	A 4.4111 ×10⁻⁵			
	B -1.0534 ×10⁻⁷			
	C 1.1649 ×10⁻¹⁰			
	D -4.9416 ×10⁻¹⁴			

【0127】

43

実施例12（1）

面番号	曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1	∞（瞳）			
2	自由曲面①		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 13.983 θ 9.46°	
			Z 33.974	
3	自由曲面②		1.5254	56.25
(2ND SF)			Y 4.596 θ -15.22°	
(REFL)			Z 49.231	
4	自由曲面①		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 13.983 θ 9.46°	
(REFL)			Z 33.974	
5	自由曲面③		Y 27.094 θ 78.39°	
(3RD SF)			Z 35.215	
6	∞		Y 29.266 θ 46.34°	
(画像表示面)			Z 46.318	

自由曲面①

C_4 -2.6152×10^{-3}	C_7 -3.9706×10^{-3}	C_8 -7.5434×10^{-5}
C_{10} -1.5120×10^{-6}	C_{12} 2.6572×10^{-7}	C_{14} 1.3359×10^{-6}
C_{16} 1.7946×10^{-7}	C_{17} -2.9881×10^{-9}	C_{19} -3.0362×10^{-9}
C_{21} -2.0258×10^{-7}	C_{23} -3.8978×10^{-10}	C_{25} 1.4986×10^{-9}
C_{27} -3.8974×10^{-9}	C_{28} -2.5335×10^{-9}	C_{30} 4.3101×10^{-12}
C_{32} -1.4923×10^{-11}	C_{34} 7.6026×10^{-11}	C_{36} -4.2410×10^{-11}

自由曲面②

C_4 -6.2524×10^{-3}	C_7 -7.5944×10^{-5}	C_8 -1.0605×10^{-5}
C_{10} 9.3276×10^{-6}	C_{12} 8.3882×10^{-7}	C_{14} -5.6861×10^{-7}
C_{16} -4.9904×10^{-7}	C_{17} -2.0403×10^{-10}	C_{19} -8.0184×10^{-9}
C_{21} -4.4196×10^{-6}	C_{23} 4.4149×10^{-10}	C_{25} 3.8170×10^{-10}
C_{27} 8.4970×10^{-11}	C_{28} -2.8006×10^{-10}	C_{30} 1.3964×10^{-12}
C_{32} -1.7677×10^{-10}	C_{34} 3.3220×10^{-12}	C_{36} 6.9401×10^{-13}

自由曲面③

C_6 -1.2118×10^{-3}	C_7 -3.7062×10^{-3}	C_8 -1.2230×10^{-4}
C_{10} 9.9763×10^{-4}	C_{12} -8.0746×10^{-5}	C_{14} -3.8939×10^{-6}
C_{16} 2.6861×10^{-5}	C_{17} -1.7720×10^{-6}	C_{19} -3.4243×10^{-6}
C_{21} -3.5310×10^{-7}	C_{23} 1.2185×10^{-7}	C_{25} 1.0019×10^{-7}
C_{27} 1.4838×10^{-7}	C_{28} -5.3531×10^{-8}	

40

【0128】

実施例12（2）

面番号	曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1	∞（瞳）			
2	自由曲面①		1.5254	56.25
(1ST SF)			Y 13.983 θ 9.46°	
			Z 33.974	
3	自由曲面②		Y 4.596 θ -15.22°	
(2ND SF)			Z 49.231	
4	∞	3.000	1.4922	57.50

45

(フレネルレンズ第1面)		Y 45.983 θ -18.17°	
		Z 65.000	
5	∞		
(フレネルレンズ第2面)			

K 0.0000
A 3.9372×10^{-6}
B -1.6979×10^{-9}
C 4.2377×10^{-13}
D -4.1828×10^{-17}

自由曲面①

C_4 -2.6152×10^{-3}	C_7 -3.9706×10^{-3}	C_8 -7.5434×10^{-5}
C_{10} -1.5120×10^{-6}	C_{12} 2.6572×10^{-7}	C_{14} 1.3359×10^{-6}
C_{16} 1.7946×10^{-7}	C_{17} -2.9881×10^{-9}	C_{19} -3.0362×10^{-9}
C_{21} -2.0258×10^{-7}	C_{23} -3.8978×10^{-10}	C_{25} 1.4986×10^{-9}
C_{27} -3.8974×10^{-9}	C_{28} -2.5335×10^{-9}	C_{30} 4.3101×10^{-12}
C_{32} -1.4923×10^{-11}	C_{34} 7.6026×10^{-11}	C_{36} -4.2410×10^{-11}

自由曲面②

C_4 -6.2524×10^{-3}	C_7 -7.5944×10^{-5}	C_8 -1.0605×10^{-5}
C_{10} 9.3276×10^{-6}	C_{12} 8.3882×10^{-7}	C_{14} -5.6861×10^{-7}
C_{16} -4.9904×10^{-7}	C_{17} -2.0403×10^{-10}	C_{19} -8.0184×10^{-9}
C_{21} -4.4196×10^{-6}	C_{23} 4.4149×10^{-10}	C_{25} 3.8170×10^{-10}
C_{27} 8.4970×10^{-11}	C_{28} -2.8006×10^{-10}	C_{30} 1.3964×10^{-12}
C_{32} -1.7677×10^{-10}	C_{34} 3.3220×10^{-12}	C_{36} 6.9401×10^{-13}

【0129】

実施例13

面番号	曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1	∞（瞳）			
2	自由曲面①		1.5163	64.15
(1ST SF)			Y 0.000 θ 24.79°	
			Z 35.567	
3	自由曲面②		1.5163	64.15
(2ND SF)			Y 5.402 θ -9.11°	
(REFL)			Z 70.723	
4	自由曲面③		Y 31.138 θ -25.12°	
(3RD SF)			Z 39.783	
5	∞		Y 33.963 θ -11.11°	
(画像表示面)			Z 34.441	

自由曲面①

C_4 6.8620×10^{-3}	C_7 7.4153×10^{-3}	C_8 5.9417×10^{-5}
C_{10} 2.9033×10^{-5}	C_{12} -4.6823×10^{-7}	C_{14} 3.8805×10^{-6}
C_{16} 5.0284×10^{-7}	C_{17} 2.3906×10^{-6}	C_{19} 7.1030×10^{-6}
C_{21} 2.8323×10^{-6}		

自由曲面②

C_4 -3.7101×10^{-3}	C_7 -4.1036×10^{-3}	C_8 4.2896×10^{-4}
C_{10} -8.4314×10^{-6}	C_{12} -8.1477×10^{-6}	C_{14} 1.1846×10^{-4}
C_{16} 2.8608×10^{-7}	C_{17} 8.8332×10^{-9}	C_{19} 3.2284×10^{-6}
C_{21} 1.2745×10^{-6}		

自由曲面③

C_4 1.5613×10^{-2}	C_7 1.5901×10^{-2}	C_8 3.8223×10^{-4}

47

C_{10} -5.9546×10⁻⁶　C_{12} -5.8106×10⁻⁶　C_{14} -4.3859×10⁻⁶
C_{16} -2.2163×10⁻⁶　C_{17} 1.1940×10⁻⁶　C_{19} 2.0760×10⁻⁶
C_{21} 1.0626×10⁻⁶

【0130】

実施例14

面番号	曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1	∞（瞳）			
2	自由曲面①		1.5163	64.15
(1ST SF)			Y -10.123	θ 20.33°
			Z 43.489	
3	自由曲面②		1.5163	64.15
(2ND SF)			Y 1.103	θ -10.31°
(REFL)			Z 65.000	
4	自由曲面①		Y -10.123	θ 20.33°
(1ST SF)			Z 43.489	
5	∞		Y 17.608	θ -13.88°
(画像表示面)			Z 30.846	

自由曲面①

C_5 1.0401×10⁻²　C_7 8.6572×10⁻³　C_8 9.8267×10⁻⁴
C_{10} 2.0456×10⁻⁴　C_{12} -9.4226×10⁻⁶　C_{14} 1.6262×10⁻⁶
C_{16} 4.0506×10⁻⁶　C_{17} 3.2669×10⁻⁷　C_{19} 2.1072×10⁻⁷
C_{21} 1.5355×10⁻⁷

自由曲面②

C_5 -2.5798×10⁻³　C_7 -3.0708×10⁻³　C_8 -3.2024×10⁻⁴
C_{10} -3.3909×10⁻⁴　C_{12} 2.9430×10⁻⁴　C_{14} 4.3427×10⁻⁴
C_{16} 3.4981×10⁻⁴　C_{17} -2.8763×10⁻⁶　C_{19} 4.0895×10⁻⁶
C_{21} 5.4666×10⁻⁶

【0131】

実施例17

面番号	曲率半径	間隔	屈折率（偏心量）	アッベ数（傾き角）
1	∞（瞳）			
2	自由曲面①		1.5000	55.55
(1ST SF)			Y 18.958	θ 7.69°
			Z 30.730	
3	自由曲面②		1.5000	55.55
(2ND SF)			Y 9.165	θ -13.84°
(REFL)			Z 48.107	
4	自由曲面①		1.5000	55.55
(1ST SF)			Y 18.958	θ 7.69°
(REFL)			Z 30.730	
5	自由曲面②		1.5000	55.55
(2ND SF)			Y 9.165	θ -13.84°
(REFL)			Z 48.107	
6	自由曲面③		1.5000	55.55
(4TH SF)			Y 34.128	θ -31.50°
			Z 30.758	
7	∞		Y 47.350	θ -34.92°
(画像表示面)			Z 35.893	

49　50

自由曲面①

C_5 -4.9463×10⁻³　C_7 -3.4812×10⁻³　C_8 6.9477×10⁻⁵
C_{10} 1.7114×10⁻⁴　C_{12} 1.0830×10⁻⁴　C_{14} -2.3541×10⁻⁷
C_{16} 4.5743×10⁻⁶　C_{17} 6.1581×10⁻⁶　C_{19} 4.7667×10⁻⁶
C_{21} -1.9359×10⁻⁷　C_{23} -1.3103×10⁻¹⁰　C_{25} -7.7572×10⁻¹⁰
C_{27} 7.0783×10⁻¹⁰　C_{28} 5.3774×10⁻⁹　C_{30} 4.7726×10⁻¹²
C_{32} 1.3699×10⁻¹¹　C_{34} 7.4217×10⁻¹¹　C_{36} -1.3460×10⁻¹⁰

自由曲面②

C_5 -5.9243×10⁻³　C_7 -5.4509×10⁻³　C_8 3.4016×10⁻⁵
C_{10} 7.9633×10⁻⁵　C_{12} -4.1470×10⁻⁷　C_{14} 1.0233×10⁻⁶
C_{16} 2.6471×10⁻⁶　C_{17} 2.3016×10⁻⁶　C_{19} 3.3134×10⁻⁶
C_{21} -1.6456×10⁻⁶　C_{23} -1.3255×10⁻¹⁰　C_{25} -4.9215×10⁻¹⁰
C_{27} -3.3070×10⁻¹⁰　C_{28} 4.1802×10⁻⁹

自由曲面③

C_5 7.9788×10⁻³　C_7 1.7546×10⁻²　C_8 -1.1020×10⁻⁴
C_{10} 9.4392×10⁻⁴　C_{12} -3.9282×10⁻⁵　C_{14} -7.3336×10⁻⁶
C_{16} -1.4273×10⁻⁵

(1) θ_{r3}=46.48°

【0132】以上の実施例では、前記定義式（a）、（b）、（c）の非球面、アナモルフィック面、自由曲面で構成したが、次の定義式（d）のように定義したZernike多項式で表される面形状、次の定義式（e）のように定義したX方向に対称な自由曲面での設計も可能である。つまり、あらゆる定義の曲面が使える＊

$$X=R\times\cos(A)$$
$$Y=R\times\sin(A)$$
$$\begin{aligned}Z=&D_2\\&+D_3R\cos(A)+D_4R\sin(A)\\&+D_5R^2\cos(2A)+D_6(R^2-1)+D_7R^2\sin(2A)\\&+D_8R^3\cos(3A)+D_9(3R^3-2R)\cos(A)\\&+D_{10}(3R^3-2R)\sin(A)+D_{11}R^3\sin(3A)\\&+D_{12}R^4\cos(4A)+D_{13}(4R^4-3R^2)\cos(2A)\\&+D_{14}(6R^4-6R^2+1)+D_{15}(4R^4-3R^2)\sin(2A)\\&+D_{16}R^4\sin(4A)+D_{17}R^5\cos(5A)\\&+D_{18}(5R^5-4R^3)\cos(3A)\\&+D_{19}(10R^5-12R^3+3R)\cos(A)\\&+D_{20}(10R^5-12R^3+3R)\sin(A)\\&+D_{21}(5R^5-4R^3)\sin(3A)+D_{22}R^5\sin(5A)\\&+D_{23}R^6\cos(6A)+D_{24}(6R^6-5R^4)\cos(4A)\\&+D_{25}(15R^6-20R^4+6R^2)\cos(2A)\\&+D_{26}(20R^6-30R^4+12R^2-1)\\&+D_{27}(15R^6-20R^4+6R^2)\sin(2A)\\&+D_{28}(6R^6-5R^4)\sin(4A)+D_{29}R^6\sin(6A)\cdots\cdots\end{aligned}$$
$$\cdots(d)$$

なお、上記においてX方向に対称な面として表した。ただし、D_m（mは2以上の整数）は係数である。

＊ことは言うまでもない。

【0133】面対称な自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式がある。この面の形状は以下の式（d）により定義する。その定義式のZ軸がZernike多項式の軸となる。

※【0134】X方向に対称な自由曲面は、前記の（c）式に対応して次のように定義できる。

$$\begin{aligned}Z=&C_2\\&+C_3Y+C_4|X|\\&+C_5Y^2+C_6Y|X|+C_7X^2\\&+C_8Y^3+C_9Y^2|X|+C_{10}YX^2+C_{11}|X^3|\end{aligned}$$

$$+C_{12}Y^4+C_{13}Y^3|X|+C_{14}Y^3X^2+C_{15}Y|X^3|+C_{16}X^4$$
$$+C_{17}Y^3+C_{18}Y^2|X|+C_{19}Y^2X^2+C_{20}Y^2|X^3|$$
$$+C_{21}YX^4+C_{22}|X^5|$$
$$+C_{23}Y^4+C_{24}Y^3|X|+C_{25}Y^2X^2+C_{26}Y^2|X^3|$$
$$+C_{27}Y^2X^4+C_{28}Y|X^5|+C_{29}X^6$$
$$+C_{30}Y^7+C_{31}Y^6|X|+C_{32}Y^5X^2+C_{33}Y^4|X^3|$$
$$+C_{34}Y^3X^4+C_{35}Y^2|X^5|+C_{36}YX^6+C_{37}|X^7|$$
$$\cdots$$
$$\cdots(e)$$

さて、以上説明したような接眼光学系と画像表示素子からなる組を1組用意し、片眼装着用に構成しても、また、そのような組を左右一対用意し、それらを眼幅距離だけ離して支持することにより、両眼装着用に構成してもよい。そのようにして、片眼あるいは両眼で観察できる据え付け型又はポータブル型の画像表示装置として構成することができる。

【0135】片眼に装着する構成にした場合の様子を図21に（この場合は、左眼に装着）、両眼に装着する構成にした場合の様子を図22にそれぞれ示す。図21、図22中、31は表示装置本体部を示し、図21の場合は観察者の顔面の左眼の前方に、図22の場合は観察者の顔面の両眼の前方に保持されるよう支持部材が頭部を介して固定している。その支持部材としては、一端を表示装置本体部31に接合し、観察者のこめかみから耳の上部にかけて延在する左右の前フレーム32と、前フレーム32の他端に接合され、観察者の側頭部を渡るように延在する左右の後フレーム33とから（図21の場合）、あるいは、さらに、左右の後フレーム33の他端に挟まれるように自らの両端を一方づつ接合し、観察者の頭頂部を支持する頭頂フレーム34とから（図22の場合）構成されている。

【0136】また、前フレーム32における上記の後フレーム33との接合近傍には、弾性体からなり例えば金属板バネ等で構成されたリヤプレート35が接合されている。このリヤプレート35は、上記支持部材の一翼を担うリヤカバー36が観察者の後頭部から首のつけねにかかる部分で耳の後方に位置して支持可能となるように接合されている（図22の場合）。リヤプレート35又はリヤカバー36内にの観察者の耳に対応する位置にスピーカ39が取り付けられている。

【0137】映像・音声信号等を外部から送信するためのケーブル41が表示装置本体部31から、頭頂フレーム34（図22の場合）、後フレーム33、前フレーム32、リヤプレート35の内部を介してリヤプレート35あるいはリヤカバー36の後端部より外部に突出している。そして、このケーブル41はビデオ再生装置40に接続されている。なお、図中、40aはビデオ再生装置40のスイッチやボリュウム調整部である。

【0138】なお、ケーブル41は先端をジャックして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV電波受信用チューナーに接続してTV鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしても構わない。

【0139】さらに、本発明の画像表示装置の接眼光学系を結像光学系として用いた場合、例えば、図23に示すような撮影光学系Obとファインダー光学系Fiが別体に併設されたコンパクトカメラCaのファインダー光学系Fiに用いることができる。結像光学系として用いた場合の光学系の構成図を図24に示す。前側レンズ群GFと、明るさ絞りDとその後方に配備された本発明の接眼光学系DSとで対物光学系Ltを構成することができる。この対物光学系Ltによって形成された像は上記対物系のLtの観察者側に設けられた4回反射のポロプリズムPによって正立され、接眼レンズOcによって観察できる。

【0140】以上、本発明のプリズム光学素子及び像観察装置、画像表示装置をいくつかの実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれらの限定されず種々の変形が可能であり、本発明の範囲内であればいかように構成してもよい。

【0141】以上の本発明のプリズム光学素子及び像観察装置は例えば次のように構成することができる。

〔1〕 屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）媒質を挟んだ複数の面によって形成されるプリズム光学素子において、前記プリズム光学素子が、前記プリズム光学素子内部に光線を入射させるか、若しくは、前記プリズム光学素子内部から光線を射出させる透過作用及び前記プリズム光学素子内部での内部反射作用とを合わせて有した第1面と、前記媒質を挟んで前記第1面と対向配置され前記プリズム光学素子内部での内部反射作用を有する第2面と、前記第2面と略近接する位置に配置されかつ前記第1面と前記媒質を挟んで対向配置され前記プリズム光学素子内部での内部反射作用を有する第3面と、前記第1面が光線を前記プリズム光学素子内部に入射させる作用を有するときには前記プリズム光学素子内部から光線を射出させる作用を有し、前記第1面が光線を前記プリズム光学素子内部から射出させる作用を有するときには前記プリズム光学素子内部に光線を入射させる作用を有するような透過作用を持った第4面とを有し、前記

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 60^\circ$$

を満たすことを特徴とするプリズム光学素子。

※ ※【0142】〔2〕 上記〔1〕において、

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 50^\circ$$

を満たすことを特徴とするプリズム光学素子。

【0143】〔3〕 上記〔1〕又は〔2〕において、前記第1面の反射が全反射であることを特徴とするプリズム光学素子。

【0144】〔4〕 上記〔1〕から〔3〕の何れか1項において、前記プリズム光学素子の媒質の屈折率（n）が1．3よりも大きい（n＞1．3）ことを特徴とするプリズム光学素子。

【0145】〔5〕 上記〔1〕から〔3〕の何れか1項において、前記プリズム光学素子を構成する少なくとも1面は平面であることを特徴とするプリズム光学素子。

【0146】〔6〕 上記〔1〕から〔5〕の何れか1項において、前記プリズム光学素子を観察光学系内部に配置したことを特徴とする観察光学系。

【0147】〔7〕 上記〔6〕において、前記プリズム光学素子を対物レンズ内部に配置したことを特徴とする観察光学系。

【0148】〔8〕 上記〔6〕において、前記プリズム光学素子が対物レンズ後方に配置され、前記対物レンズによって形成された物体像を正立正像させる作用を持った像正立手段内部に配置されていることを特徴とするカメラファインダー光学系。

【0149】〔9〕 上記〔8〕において、前記プリズム光学素子が像正立作用と共に接眼レンズ作用も合わせて有することを特徴とするカメラファインダー光学系。

【0150】〔10〕 上記〔1〕から〔5〕の何れか1項において、前記プリズム光学素子の前記第4面に対向配置された像形成手段と、前記プリズム光学素子と前記像形成手段を観察者顔面に保持する作用を持った保持部材とを有し、前記像形成手段から射出した光束が、前記プリズム光学素子内部の光路順に、前記第4面に入射して、前記第3面で反射され、前記第1面で反射され、前記第2面で反射され、前記第1面より射出されることを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

【0151】〔11〕 像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が、間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めた少なくとも3つの面を備えた面構成を持つプリズム部材を有すると共に、前記プリズム部材が前記像形成手段から射出された光線を少なくとも3回内部反射させる作用を有し、かつ、その少なくとも3回の内部反射作用の中の少なくとも2回の内部反射は全反射作用による反射となるように構成されており、前記少なくとも

*記媒質のd線における屈折率をn_d、前記第3面における任意の光線の内部反射の角度をθ_{r3}とするとき、

$$\cdots(1)$$

とも2回の全反射作用の中の少なくとも1回の反射は前記プリズム部材の単体媒質の観察者側に配置された面によって行われ、かつ、その面は前記プリズム部材の内部反射によって生じる収差を補正する作用を持った曲面形状に形成され、さらに、前記プリズム部材の少なくとも3つの面の中少なくとも2つの面を通して外界観察を行うことができるように、前記少なくとも2つの面が前記単体媒質を挟んで外界を観察するときに発生する歪みを低下させるような対向配置がなされていることを特徴とする像観察装置。

【0152】〔12〕 像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも4つ設けられ、かつ、その4つの光学作用面で囲まれた間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めて構成され、前記4つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第1面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第2面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第2面に略隣接配置された反射作用を有する第3面と、一方の端部を前記第1面に略隣接させ他方の端部を前記第3面に略近接させるように配置した第4面とからなり、少なくとも前記第3面は全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記第1面と前記単体媒質と前記第3面とを通して外界を観察することが可能な外界観察作用を有するように前記第1面と前記単体媒質と前記第3面とが構成されていることを特徴とする像観察装置。

【0153】〔13〕 上記〔12〕において、前記像形成手段が前記第4面に像形成画面を対向配置させた画像表示素子であり、前記第2面が曲面にて形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0154】〔14〕 上記〔13〕において、前記画像表示素子と前記接眼光学系を観察者眼球前方に保持する作用を持った保持部材を有し、前記プリズム部材は、前記画像表示素子から射出した光束が、前記第4面から入射し、その入射光束が前記第3面で反射され、その反射光束が前記第1面で反射され、その反射光束が前記第2面で反射され、その反射光束が前記第1面から射出されるように構成されたことを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

55

【0155】〔15〕 上記〔12〕から〔14〕の何れか1項において、前記外界観察作用は前記第1面と前記第3面の少なくとも一部の領域における合成のパワーが略ゼロとなるように形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0156】〔16〕 上記〔12〕から〔15〕の何れか1項において、前記第1面と前記第3面とが曲面にて形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0157】〔17〕 上記〔12〕から〔16〕の何れかを満たすことを特徴とする像観察装置。

$$-0.5 \leq \phi_{11} \leq 0.5 \quad (1/mm)$$

【0160】〔20〕 上記〔12〕から〔19〕の何れか1項において、前記プリズム部材は、前記像形成手段によって形成された像の観察時及び前記外界像の観察時の何れの観察においても同じ位置に固定されているように形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0161】〔21〕 上記〔20〕において、前記第1面と前記第3面を通して、部分領域別に前記像形成手段からの像と外界像を観察可能であることを特徴とする像観察装置。

【0162】〔22〕 上記〔12〕から〔19〕の何れか1項において、前記プリズム部材は、前記像形成手段によって形成された像の観察と前記外界像の観察とを切り替える切替手段を有し、前記切替手段は、前記プリズム部材を移動させる機能を有するように形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0163】〔23〕 上記〔22〕において、前記切替手段は、前記像形成手段によって形成された像を観察する際の前記プリズム部材から観察者眼球に到る光路が、前記外界像を観察観察する際の前記プリズム部材から観察者眼球に到る光路と略一致するように前記プリズム部材を移動させることを特徴とする像観察装置。

【0164】〔24〕 上記〔22〕又は〔23〕において、前記切替手段は、前記プリズム部材を軸上主光線の光路を含む面に沿った方向に移動可能となるように移動させる構成を有することを特徴とする像観察装置。

【0165】〔25〕 上記〔22〕又は〔23〕において、前記切替手段は、前記プリズム部材を観察者の視軸に垂直方向に移動可能となるように移動させる構成を有することを特徴とする像観察装置。

【0166】〔26〕 上記〔22〕又は〔23〕において、前記切替手段は、前記プリズム部材を回動可能となるように移動させる構成を有することを特徴とする像観察装置。

【0167】〔27〕 像形成手段と、前記像形成手段によって形成された像を観察眼球に導く作用を持った接眼光学系とを有する像観察装置において、前記接眼光学系が少なくともプリズム部材を含み、前記プリズム部材は、その面構成の中、透過又は反射の光学作用を持った光学作用面が少なくとも4つ設けられ、かつ、その4つ

56

*れか1項において、前記第1面と前記第3面とが球面にて形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0158】〔18〕 上記〔12〕から〔14〕の何れか1項において、前記第1面と前記第3面とが平面にて形成されていることを特徴とする像観察装置。

【0159】〔19〕 上記〔12〕から〔18〕の何れか1項において、前記第1面と前記第3面との任意の場所における合成のパワーをϕ_{11}とする場合、

$$\cdots (3)$$

の光学作用面で囲まれた間を屈折率（n）が1よりも大きい（n＞1）単体媒質で埋めて構成され、前記4つの光学作用面は、透過作用と反射作用とを有し観察者眼球側に配置された第1面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ観察者視軸に対して少なくとも偏心あるいは傾いて配置された反射作用を有する第2面と、前記第1面に対して前記媒質を挟んで対向配置されかつ前記第2面に略隣接配置された反射作用を有する第3面と、一方の端部を前記第1面に略隣接させ他方の端部を前記第3面に略近接させるように配置した第4面とからなり、少なくとも前記第2面又は前記第3面が全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていると共に、前記全反射作用を有する前記第2面又は前記第3面の全反射作用を生じる領域近傍に観察者の視線を検出する作用を持った視線検出手段を配置したことを特徴とする像観察装置。

【0168】〔28〕 上記〔27〕において、前記第1面が全反射作用を有するように前記プリズム部材が構成されていることを特徴とする像観察装置。

【0169】〔29〕 上記〔28〕において、前記視線検出手段は、前記第2面又は前記第3面の全反射領域を通過して観察者の視線を検出する位置に配置されていることを特徴とする像観察装置。

【0170】〔30〕 上記〔27〕から〔29〕の何れか1項において、前記観察者眼球を照明する照明手段を有することを特徴とする像観察装置。

【0171】〔31〕 上記〔30〕において、前記照明手段は赤外光を用いるものであることを特徴とする像観察装置。

【0172】〔32〕 上記〔31〕において、前記接眼光学系と前記像形成手段と前記視線検出手段とを観察者顔面に保持する作用を持った保持部材を備えていることを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

【0173】〔33〕 上記〔10〕、〔14〕から〔26〕、〔32〕の何れか1項において、前記像形成手段と前記接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有することを特徴とする像観察装置。

【0174】〔34〕 上記〔10〕、〔14〕から〔26〕、〔32〕、〔33〕の何れか1項において、前記像観察装置の少なくとも2組を一定の間隔で支持する支持手段を有することを特徴とする像観察装置。

57

【0175】〔35〕 上記〔1〕～〔10〕及び〔27〕～〔34〕の何れか1項において、前記第2面及び前記第3面とが、光学作用的には別々の面として作用し、かつ、構成的には1つの面にて形成されていることを特徴とするプリズム光学素子又はプリズム部材。

【0176】〔36〕 上記〔35〕において、前記第2面と前記第3面とを構成する1つの面は、前記第4面に近い領域が第3面として作用し、前記第4面から遠い領域が第2面として作用するように構成されていることを特徴とするプリズム光学素子又はプリズム部材。

【0177】〔37〕 上記〔36〕において、前記第2面と前記第3面とを構成する1つの面は、中央領域が第2面と第3面との両方の作用を兼用するするように構成されていることを特徴とするプリズム光学素子又はプリズム部材。

【0178】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、非常に薄型で小型の接眼光学系でありながら、不要光が少なく、広い観察画角においても明瞭な観察像を与える像観察装置としての画像表示装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図2】本発明の実施例2の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図3】本発明の実施例3の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図4】本発明の実施例4の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図5】変形例（a）と対比しながら本発明（b）の実施例5の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系を説明する断面図である。

【図6】本発明の実施例6の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図7】本発明の実施例7の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図8】本発明の実施例8の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図9】本発明の実施例9の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図10】本発明の実施例10の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図11】本発明の実施例11の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図12】本発明の実施例12の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図13】本発明の実施例13の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図14】本発明の実施例14の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図15】本発明の実施例15の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図16】本発明の実施例16の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図17】本発明の実施例17の接眼光学系を用いた頭部装着型画像表示装置の単眼用の光学系の断面図である。

【図18】実施例17のような接眼光学系に視線検出手段を設けた場合の断面図である。

【図19】実施例17のような接眼光学系を電子像観察位置から外界像観察位置へ変換する場合の移動方向と機構を示す図である。

【図20】本発明において全反射面により不要光を除去する作用を説明するための図である。

【図21】本発明の画像表示装置を片眼装着用構成にした場合の様子を示す図である。

【図22】本発明の画像表示装置を両眼装着用構成にした場合の様子を示す図である。

【図23】本発明による光学系を結像光学系として利用した場合の構成図である。

【図24】本発明による光学系を結像光学系として利用した場合の光学系の構成図である。

【符号の説明】

1…射出瞳位置（観察者瞳位置）
2…観察者視軸（軸上主光線）
3…接眼光学系の第1面
4…接眼光学系の第2面
5…接眼光学系の第3面
6…接眼光学系の第4面
7…画像表示素子
8…フレネルレンズ
9…視線検出光学系
10…視線検出器
11…照明手段
12…接眼光学系（偏心プリズム）
13、14…第2光学素子
15…観察者眼球
16…光学フィルター
17…リニアモーター
18…光学素子に設けられた突出部
19…外装部に設けられたガイド（レール）

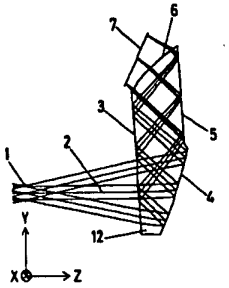
51

31…表示装置本体部
32…前フレーム
33…後フレーム
34…頭頂フレーム
35…リヤプレート
36…リヤカバー
39…スピーカ
40…ビデオ再生装置
40a…スイッチ、ボリュウム調整部
41…ケーブル

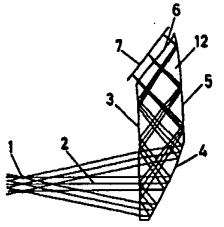
60

NC…コーティング穴
Ob…撮影光学系
Fi…ファインダー光学系
Ca…コンパクトカメラ
GF…前側レンズ群
D …明るさ絞り
DS…接眼光学系（本発明）
Lt…対物光学系
P …ポロプリズム
Oc…接眼レンズ

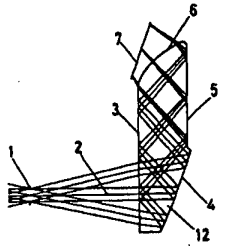
【図1】



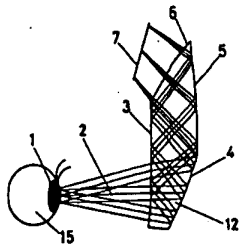
【図2】



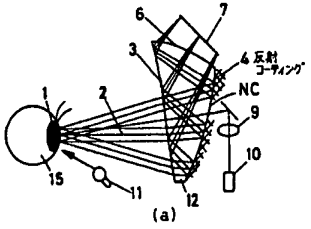
【図3】



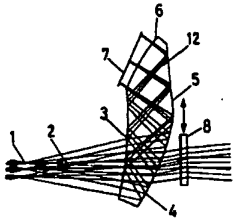
【図4】



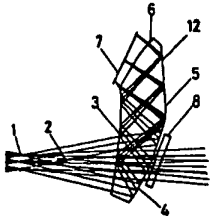
【図5】

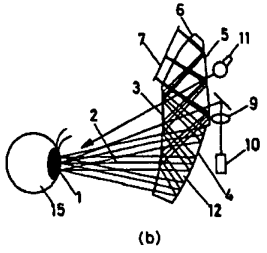


【図10】

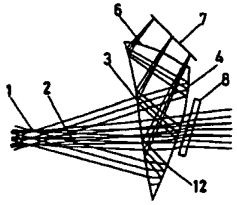


【図11】

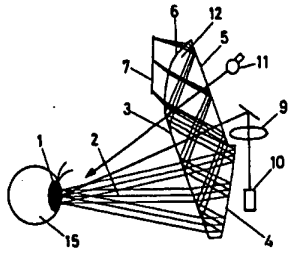




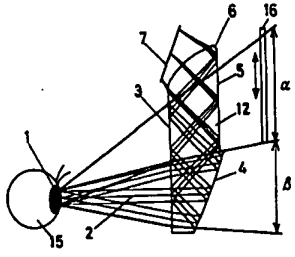
【図12】



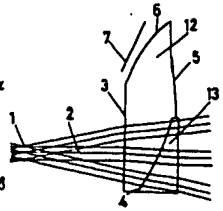
【図6】



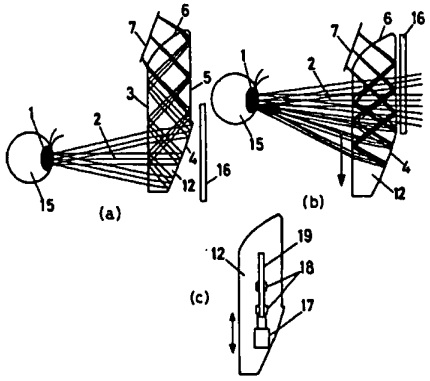
【図7】



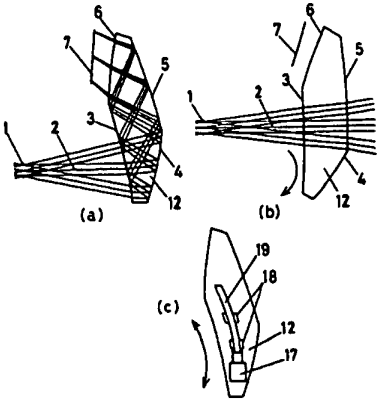
【図15】



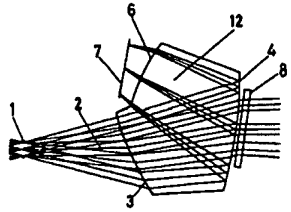
【図8】



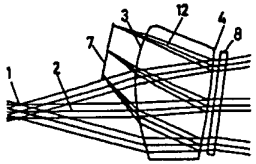
【図9】



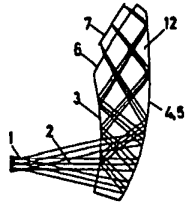
【図13】



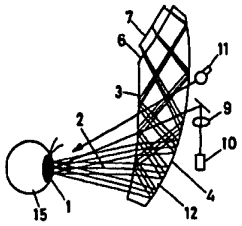
【図14】



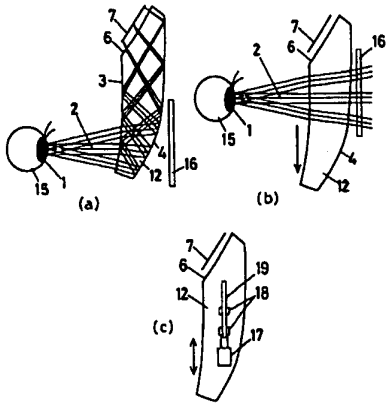
【図16】



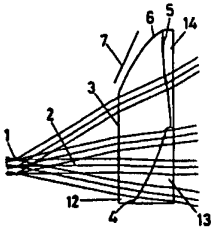
【図17】



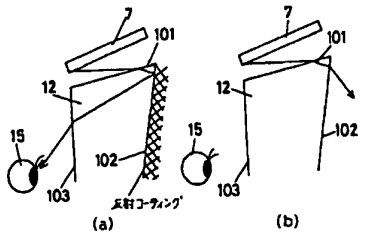
【図18】



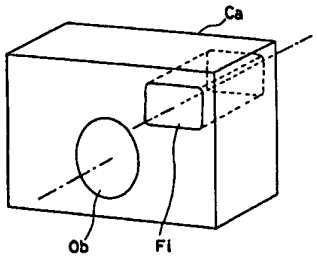
【図19】



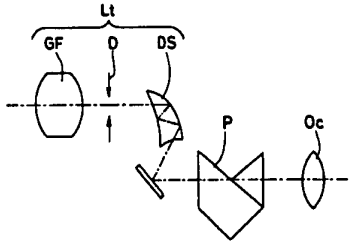
【図20】



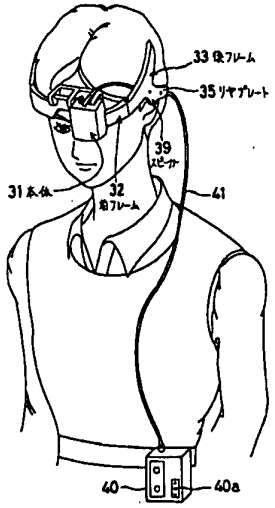
【図23】



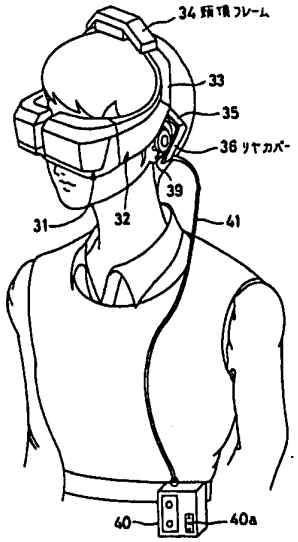
【図24】



【図21】



【図22】



JAPANESE LAID-OPEN PATENT APPLICATION

(11)	Laid Open Patent Application No.	10-307263
(43)	Date of Publishing	November 17, 1998
(51)	Int. Cl.[6]	G02B 25/00 G02B 13/18 G02B 17/08
(21)	Application No.	9-116724
(22)	Date of Filing	May 7, 1997
(71)	Assignee	Olympus Optical Co., Ltd.
(72)	Inventors	Takahashi, Junko Takahashi, Koich
(73)	Title of the Invention	Prism Optical Element and Image Viewing Apparatus

[Claims]

[Claim 1] A prism optical element comprising a plural ity of surfaces between which a medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1) is sandwiched,

characterized in that the prism optical element has: a first surface having both a transmission property of making a light ray enter the prism optical element or making a light ray exit from the prism optical element, and an internal reflection property in the prism optical element; a second surface disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between, and having an internal refle ction property in the prism optical element; a third surface disposed in a position substantially in the vicinity of the second surface so as to be opposed to the first surface with the medium in between, and having an internal reflection property in the p rism optical element; and a fourth surface having a transmission property of making the light ray exit from the prism optical element when the first surface has the property of making the light ray enter the prism optical element, and making the light ray enter the prism optical element when the first surface has the property of making the light ray exit from the prism optical element, and when the refractive index, to the d-line, of the medium is n_d and the angle of internal reflection of a given light ray at the third surface is θ_{r3}, the following expression (1) is satisfied:

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 60^\circ \quad \ldots (1)$$

[Claim 2] An image viewing apparatus having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, characterized in that the eyepiece optical system has a prism member having a surface structure provided with at least three surfaces among which a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1) is filled, the prism member internally reflec ts at least three times a light ray emanating from the image forming means, at least two of the at least three internal reflections is total reflection, at least one of the at least two total reflections is performed by a surface disposed on the

viewer side of the single medium of the prism member, the surface is a curved surface that corrects an aberration caused by the internal reflection by the prism member, and

in order that the outside world can be viewed through at least two of the at least three surfaces of the prism member, the at least two surfaces are disposed opposed to each other so as to decrease distortion caused when the outside world is viewed with the single medium sandwiched therebetween.

[Claim 3] An image viewing apparatus having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball,

characterized in that the eyepiece optical system includes at least a prism member, the prism member has, in its surface structure, at least four optical property surfaces having an optical property of transmission or reflection, a space surrounded by the four optical property surfaces is filled with a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1),

the four optical property surfaces comprise: a first surface having a transmission property and a reflection property, and disposed on a side of a viewer's eye ball; a second surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with t he medium in between and to be at least decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; a third surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be substantia lly adjacent to the second surface; and a fourth surface disposed so that one end thereof is substantially adjacent to the first surface and the other end thereof is substantially in the vicinity of the third surface,

the prism member is structured so tha t at least the third surface has a total reflection property, and the first surface, the single medium and the third surface are structured so as to have an outside world viewing property that enables the outside world to be viewed through the first surfac e, the single medium and the third surface.

[Claim 4] An image viewing apparatus having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, characterized in that the eyepiece optical system includes at least a prism member,

the prism member has, in its surface structure, at least four optical property surfaces having an optical property of transmission or reflection, a space surrounded by the four optical property surfaces is filled with a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1),

the four optical property surfaces comprise: a first surface having a transmission property and a reflection property, and disposed on a side of a viewer's eye ball; a second su rface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be at least decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; a third surface having a reflection property and di sposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be substantially adjacent to the second surface; and a fourth surface disposed so that one end thereof is substantially adjacent to the first surface and the other end thereo f is substantially in the vicinity of the third surface,

the prism member is structured so that at least the second surface or the third surface has a total reflection property, and line of sight detecting means for detecting the viewer's line of sight is disposed in the vicinity of an area where total reflection by the second surface or the third surface having the total reflection property is caused.

[Detailed Description of the Invention]

[Technical Field of the Invention] The present invention relates to a prism optical element and an image viewing apparatus, and more particularly, to a head - or face-mounted image display apparatus capable of being held on the viewer's head or face.

[Prior Art] Examples of a heretofore known head - or face-mounted image display apparatus include

one disclosed in Japanese Laid-open Patent Application No. H3-101709. In this image display apparatus, the image displayed on the image display device is transmitted as an aerial image by a relay optical system comprising positi ve lens elements, the aerial image is enlarged by an eyepiece optical system comprising a concave reflecting mirror, and the enlarged image is projected within the viewer's eye ball.

Examples of another type of conventional image display apparatus is one disclosed in United States Patent No. 4,669,810. In this apparatus, an intermediate image of the image on a CRT is formed through a relay optical system, and the intermediate image is projected onto the viewer's eye by a combiner having a reflection holog raphic element and a hologram surface.

Examples of yet another type of conventional image display apparatus include one disclosed in United States Patent No. 4,026,641. In this apparatus, the image on the image display device is transmitted to a curved o bject surface by a transfer element, and the object surface is projected in the air by a toric reflecting surface.

Examples of still another type of conventional image display device include one disclosed in United States Reissued Patent No. 27,356. This apparatus is an eyepiece optical system that projects the object surface onto the exit pupil by a semitransparent concave mirror and a semitransparent plane mirror.

Ones disclosed in the following are also known: United States Patent No. 4,322,135; United States Patent No. 4,969,724; European Patent No. 0,583,116A2; and Japanese Laid -open Patent Application No. H7-333551.

[Problem to be Solved by the Invention] However, in the image display apparatuses of the type in which the image on the image display d evice is relayed like the ones disclosed in Japanese Laid-open Patent Application No. H3-101709 and United States Patent No. 4,669,810, since it is necessary to use several lens elements as the relay optical system in addition to the eyepiece optical system irrespective of the form of the eyepiece optical system, the optical path length is large, so that

the optical system is large in size and heavy in weight.

A heat-mounted image display apparatus is worn on the human body, particularly on the head. Therefore, when the amount of protrusion of the apparatus from the face is large, the distance from the point at which the apparatus is supported on the head to the center of gravity of the apparatus is long, which results in poor balance when the apparatus is worn. In addition, there is a fear that the apparatus bumps against an object when the viewer wearing the apparatus moves or turns. That is, it is important for head -mounted image display apparatuses to be compact and lightweight. A great factor that d ecides the size and weight of the apparatus is the optical system structure.

However, when only a normal magnifier is used as the eyepiece optical system, an extremely large amount of aberration is generated and there is no means for correcting it. Altho ugh spherical aberration can be corrected to some extent by making the concave surface of the magnifier aspherical, since aberrations such as coma aberration and curvature of field remain, the apparatus cannot be practical when the viewing angle is large. When only a concave mirror is used as the eyepiece optical system, means such that the generated curvature of field is corrected by a conduction element (fiber plate) having a surface curved in accordance with the curvature of field must be used as well as normal optical elements (lens elements and mirrors).

In the type in which the image on the image display device is projected onto the viewer's eye ball by use of a toric reflecting surface like the one disclosed in United States Patent No. 4,026,641, since curvature of field caused by the decentered toric reflecting surface is corrected by curving the object surface itself, it is difficult to use a so -called flat display such as an LCD (liquid crystal display device) as the image display device.

In the coaxial eyepiece optical system that projects the object surface onto the viewer's pupil by use of a semitransparent concave mirror and a semitransparent plane mirror like the one disclosed in United States Reissued Patent No. 27,356, since two semitranspa rent surfaces are used,

the image brightness decreases to as low as 1/16 even in theoretical value. In addition, since curvature of field caused by the semitransparent concave mirror is corrected by curving the object surface itself, it is difficult to use a flat display such as an LCD (liquid crystal display device) as the image display device like the conventional example described above.

The present invention is made in view of the above -mentioned prior art problem, and an object thereof is to provide a very-small-size image viewing apparatus that provides a clear viewing image with few distortions and few aberrations even at a wide angle of view, and a prism optical element used for the image viewing apparatus.

[Means for Solving the Problem] In a pris m optical element of the present invention achieving the above-mentioned object and comprising a plurality of surfaces between which a medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1) is sandwiched, the prism optical element has: a first surface having both a transmission property of making a light ray enter the prism optical element or making a light ray exit from the prism optical element, and an internal reflection property in the prism optical element; a second surface disposed so as to be oppos ed to the first surface with the medium in between, and having an internal reflection property in the prism optical element; a third surface disposed in a position substantially in the vicinity of the second surface so as to be opposed to the first surface with the medium in between, and having an internal reflection property in the prism optical element; and a fourth surface having a transmission property of making the light ray exit from the prism optical element when the first surface has the property of making the light ray enter the prism optical element, and making the light ray enter the prism optical element when the first surface has the property of making the light ray exit from the prism optical element, and when the refractive index, to the d-line, of the medium is n_d and the angle of internal reflection of a given light ray at the third surface is θ_{r3}, the following expression (1) is satisfied:

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leq \theta_{r3} \leq 60^\circ \quad \ldots (1)$$

In the present invention, the structure of the second surface and the third surface is not

limited to the one in which separately designed surfaces are disposed adjacent to eac h other, but includes a structure using one surface one partial area of which acts as the second surface and another partial area of which acts as the third surface. In that case, needless to say, an overlapping area that acts both the second surface and the third surface may be present because a ray bundle has a width.

In an image viewing apparatus according to the present invention having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, the eyepiece optical system has a prism member having a surface structure provided with at least three surfaces among which a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1) is filled, the prism member internally reflects at l east three times a light ray emanating from the image forming means, at least two of the at least three internal reflections is total reflection, at least one of the at least two total reflections is performed by a surface disposed on the viewer side of the single medium of the prism member, the surface is a curved surface that corrects an aberration caused by the internal reflection by the prism member, and in order that the outside world can be viewed through at least two of the at least three surfaces of the prism member, the at least two surfaces are disposed opposed to each other so as to decrease distortion caused when the outside world is viewed with the single medium sandwiched therebetween.

In another image viewing apparatus of the present inventio n having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, the eyepiece optical system includes at least a prism member, the prism member has, in its surface structure, at leas t four optical property surfaces having an optical property of transmission or reflection, a space surrounded by the four optical property surfaces and a surface other than the four surfaces is filled with a single medium having a refractive index (n) high er than 1 (n>1), the four optical property surfaces comprise: a first surface having a transmission property and a reflection property, and disposed on a side of a viewer's eye ball; a second surface having a

reflection property and disposed so as to be op posed to the first surface with the medium in between and to be at least decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; a third surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the mediu m in between and to be substantially adjacent to the second surface; and a fourth surface disposed so that one end thereof is substantially adjacent to the first surface and the other end thereof is substantially in the vicinity of the third surface, the p rism member is structured so that at least the third surface has a total reflection property, and the first surface, the single medium and the third surface are structured so as to have an outside world viewing property that enables the outside world to be viewed through the first surface, the single medium and the third surface.

In still another image viewing apparatus of the present invention having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, the eyepiece optical system includes at least a prism member, the prism member has, in its surface structure, at least four optical property surfaces having an optical property of transmission or reflection, a space surrounded by th e four optical property surfaces is filled with a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1), the four optical property surfaces comprise: a first surface having a transmission property and a reflection property, and disposed on a side of a viewer's eye ball; a second surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be at least decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; a third surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be substantially adjacent to the second surface; and a fourth surface disposed so that one end thereof is substantially adjacent to the first surface and the other end thereof is substantially in the vicinity of the third surface, the prism member is structured so that at least the second surface or the third surface has a total reflection property, and line of sight detecting means for dete cting the viewer's line of sight is disposed in the vicinity of an area where total reflection by the second surface or the third surface

having the total reflection property is caused.

In the present invention, the structure of the second surface and the third surface is not limited to the one in which separately designed surfaces are disposed adjacent to each other, but includes a structure using one surface one partial area of which acts as the second surface and another partial area of which acts as th e third surface. In that case, needless to say, an overlapping area that acts both the second surface and the third surface may be present because a ray bundle has a width.

Hereinafter, the structures, actions and effects of the prism optical element, th e image viewing apparatus and the image display apparatus of the present invention will be described. Particularly in the description of the image viewing apparatus and the image display apparatus, for convenience in the optical system design, description will be given based on backward ray tracing in which a light ray is traced from the position of the viewer's pupil to the image display device unless otherwise specified.

In this image viewing apparatus, the effect of bending the optical path is great by a light ray from the image display device (image forming means) being internally reflected three times in the eyepiece optical system, so that a very thin eyepiece optical system is realized. Further, by two of the three internal reflections being total reflection, the area covered with reflective coating is extremely small, and thus, the present invention succeeds in realizing a compact, lightweight and low-cost eyepiece optical system. Further, by two of the three internal reflections being total reflection, generation of a ghost image due to generation of unnecessary light, or decrease in contrast due to flare can be reduced. Normally, in an optical system having internal reflection and filled with an optical medium of a refractive index higher than 1 , influences of light exiting from the image display device at a large angle and unnecessary light due to reflection not on the normal light ray path are a problem. According to the present invention, since the area covered with reflective coating is small because of the use of two totally reflecting surfaces, unnecessary light other than the

normal luminous flux that reaches the pupil from the image display device passes through the two internally reflecting surfaces, so that the unnecessary light that re aches the viewer's pupil is significantly reduced.

This action will be detailed with reference to FIG. 20. FIG. 20 is an enlarged view of a portion, on which light from an image display device 7 is incident, of a decentered prism 12 in which a space formed by three surfaces 101, 102 and 103 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1. Reference numeral 15 represents the viewer's eye ball. Reference numeral 101 represents an incident surface . Reference numeral 102 represents an outside world side reflecting or totally reflecting surface. Reference numeral 103 represents a viewer side refracting or reflecting surface. (a) of FIG. 20 shows a case where the reflecting surface 102 is covered with reflective coating. (b) of FIG. 20 shows a case where the reflecting surface 102 is a totally reflecting surface and is not covered with reflective coating. In the case of (a) of FIG. 20, light exiting from the left side of the image display device 7 at a large angle is incident on the incident surface 101 of the decentered prism 12 to be refracted, is reflected at the reflecting surface 102 covered with reflective coating, and passes through the refracting surface 103 to be incident on the viewer's e ye ball 15. Consequently, the viewer sees an unnecessary electronic image in an upper part of the viewer's field of view in addition to the normal image on the image display device 7 (hereinafter, referred to as electronic image), or flare is caused in an upper part.

In the case of (b) of FIG. 20, light exiting from the left side of the image display device 7 at a large angle is incident on the incident surface 101 of the decentered prism 12 to be refracted, and passes through the reflecting surface 102 n ot covered with reflective coating because the light is incident thereon at an angle not more than a critical angle. Consequently, the light is transmitted toward the side opposite to the viewer and is not incident on the viewer's eye ball 15. That is, a ghost image or flare is not caused.

The above-described action can similarly be caused at a totally reflecting surface in cases other than this example. This can be achieved by setting the luminous flux of a light ray path for viewing the normal electronic image, so as to have an incident angle not less than a critical angle, and setting other luminous fluxes with exit angles that can cause a ghost or flare, so as to be at an angle not more than the critical angle at the totally reflecting surface. By p roviding two totally reflecting surfaces, the above-described effect is easily obtained, so that a clear viewing image with no ghost image and little reduction in contrast due to flare can be provided to the viewer.

First, in the prism optical element of the present invention, assuming that it is used as an eyepiece optical system (viewing optical system) of an image viewing apparatus or an image display apparatus, since it comprises a prism member that causes internal reflection at least three times and the prism member is filled with a medium having a refractive index higher than 1, in addition to the effect that the eyepiece optical system can significantly be reduced in thickness by the above-described effect of bending the optical path, the effect of a berration correction because of the structure in which internal reflection is caused at least three times is great, so that a clear viewing image can be provided in the entire area of the screen. This will be detailed below.

The principal optical power of the prism optical element is provided by the second surface which is a reflecting surface. In this case, since the optical system can be structured with a large radius of curvature compared to a refractive system having the same optical power, aberratio n generation can be reduced. Since the outside world side reflecting surface is divided into two different surfaces (the second surface and the third surface), the reflected light can be set in a desired direction without depending on the curvature of eac h surface. Therefore, the optical system can be provided with a shape conforming to the shape of the viewer's face, and the image display device can be disposed with its back facing the viewer side. Particularly, in the case of an image display device requiring a backlight such as an LCD, since the backlight and the electric system are disposed on the viewer side, the image display apparatus does not protrude forward, so that the overall

protrusion of the image display apparatus can be minimized.

Generally, when a concave mirror is disposed so as to be decentered or inclined with respect to the optical axis, aberrations due to decentering that are not caused in coaxial systems are caused. In the prism optical element of the present invention, when it is used for an image viewing apparatus or an image display apparatus, since the second surface is decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting, aberrations due to decentering are caused. Particularly, since the axial optical power in a direction along within a plane including the optical path of the axial principal ray (tangential direction) and that in a direction including the axis of sighting and vertical to a plane including the optical path of the axial principal ray (sagittal dir ection) are different, astigmatism and coma aberration are caused. To correct these decentering aberrations, by at least one of the at least four surfaces constituting the prism optical element being a surface where the optical power in the tangential dir ection and that in the sagittal direction are different, that is, a rotationally asymmetric surface, the decentering aberrations caused on the second surface can be corrected.

Further, it is effective for the prism optical element to comprise surfaces inc luding only one symmetric surface. When the image display device is disposed on the viewer's axis of sighting (axial principal ray), by at least one of the surfaces constituting the eyepiece optical system being a surface having a symmetric surface in the sagittal direction, a horizontally symmetric viewing image can be projected onto the viewer's eye ball. On the other hand, by providing no symmetric surface in the tangential direction of the surface, the degree of freedom in the tangential direction inc reases, so that the decentering aberrations caused within the plane including the optical path of the axial principal ray can more excellently be corrected.

When the eyepiece optical system comprises at least four surfaces, the reflection at the first surface can be total reflection. By the first surface disposed immediately before the viewer's pupil being a totally reflecting surface, the area where a light ray exits from the eyepiece optical

system and the internal reflection area can be overlapped with each other. That is, one surface can be provided with two properties, which enables size reduction of the eyepiece optical system.

Moreover, since the above-mentioned effect of reducing ghost or flare by a totally reflecting surface is also obtained on the first surface, a clearer viewing image can be provided. Further, since reflective coating is provided only on the second surface, manufacturability improves, so that a more inexpensive image display apparatus can be realized.

Moreover, in the prism optical element, when the refractive index, to the d -line, of the medium is n_d and the angle of internal reflection of a given light ray at the third surface is θ_{r3}, it is desirable to satisfy

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 60^\circ \quad \ldots (1)$$

It is important to satisfy the expression (1). By θ_{r3} being not less than the lower limit sin -1(1/nd), the angle of internal reflection at the third surface is not less than the critical angle , so that the given light ray emanating from the image display device is enabled to be totally reflected at the third surface.

When the angle of reflection at the third surface is too large, the prism optical element is long in a direction vertical to the axis of sighting (tangential direction). Particularly, in the case of a wide-angle image display apparatus, the off-axial ray spreads to such an extent that it cannot reach the first surface at which it is reflected next, so that the prism optical elemen t cannot be realized. Therefore, it is desirable that the given light ray emanating from the image display device be set at not more than 60° which is the upper limit of the expression (1) at the third surface.

Further, it is desirable that the following expression (2) be satisfied:

$$\sin^{-1}(1/n_d) \leqq \theta_{r3} \leqq 50^\circ \quad \ldots (2)$$

Since the third surface is a curved surface inclined or decentered with respect to the optical axis (axial principal ray), the smaller the angle of reflection at this surface is, the smaller the generation of aberrations due to decenteri ng, particularly coma aberration is. Therefore, it is desirable that the

given light ray emanating from the image display device be set at not more than 50 ° which is the upper limit of the expression (2) at the third surface.

Moreover, to realize an inexpensive image display apparatus, it is important that at least one of the surfaces constituting the prism optical element be a plane. Since the other surfaces can be defined with the at least one plane as the reference, mechanical design and manufacture o f the optical system can easily be performed. This enables reduction in processing time, a simplified overall layout of the apparatus and the like, so that a large cost reduction can be realized.

Moreover, similar effects can be obtained by at least one surface being a spherical surface. In that case, since it is easy to define the other surfaces with one spherical surface as the reference, the overall layout of the apparatus and the like are simplified, so that a large cost reduction is enabled.

It is desirable that the refractive index n of the medium of the prism optical element be higher than 1.3.

It is apparent from the description given above that a viewing optical system can be structured by disposing the prism optical element in the viewing opti cal system.

In that case, the prism optical element may be disposed in the objective lens, or may be disposed in a position that is in the rear of the objective lens and in image erecting means for erecting an object image formed by the objective lens. I n the latter, the prism optical element may be provided with both an image erecting property and an eyepiece lens property.

Moreover, the prism optical element of the present invention may be used as a head-mounted image display apparatus having image for ming means comprising an LCD (liquid crystal display device) or a CRT disposed so as to be opposed to the fourth surface of the above-described prism optical element, or image forming means comprising an LCD, a CRT or the like relayed by a relay optical sy stem, and a holding member that holds the prism optical element and the image forming means on the viewer's face, wherein a luminous flux emanating from the

image forming means is, in the order of optical paths in the prism optical element, incident on the fourth surface, reflected at the third surface, reflected at the first surface, reflected at the second surface, and exits from the first surface.

In the present invention, one surface may be used both as the second surface and the third surface. In that case, since the physical number of surfaces can be reduced by one, the process can be simplified in optical design and in prism manufacture, which contributes to mass productivity and price reduction. Further, it is desirable that physically one surface having both the property of the second surface and the property of the third surface be used both as the second and the third surfaces and the areas in which the luminous flux is internally reflected be set so as to overlap each other, because size reduction of the prism member can be realized.

Moreover, in an image viewing apparatus of the present invention having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, the eyepiece optical system has a prism member having a surface structure provided with at least three surfaces among which a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1) is filled, the prism member internally reflects at least three times a light r ay emanating from the image forming means, at least two of the at least three internal reflections is total reflection, at least one of the at least two total reflections is performed by a surface disposed on the viewer side of the single medium of the pri sm member, the surface is a curved surface that corrects an aberration caused by the internal reflection by the prism member, and in order that the outside world can be viewed through at least two of the at least three surfaces of the prism member, the at least two surfaces are disposed opposed to each other so as to decrease distortion caused when the outside world is viewed with the single medium sandwiched therebetween.

In the image viewing apparatus of the present invention, since a third surface 5 is a totally reflecting surface and is not covered with reflective coating, the outside world light passing through the third surface 5 and a first surface 3 reaches the viewer's eye ball 15. Consequently, the outside

world can be viewed in an area α different from the electronic image viewing area β. That the viewer can view the outside world image and the electronic image in different partial areas as mentioned above indicates, for example, that the viewer can simultaneously view the outside world in an upper area and the electronic image in a lower area in the viewer's field of view. The different partial areas may be areas arranged in any direction and parts such as upper and lower areas or left and right areas as long as the viewer can view the two images in different partial areas, respectively. By providing such a function, the viewer can recognize the outside world while wearing the image display apparatus, so that a safe image display apparatus can be provided that can prevent danger and deal with emergencies. As a result, the area of application as an image display apparatus is widened.

In the image forming apparatus, it is desirable that the image forming means be an image display device (one relayed by the relay optical system is not pr edetermined) such as an LCD or a CRT of which image formed screen is disposed so as to be opposed to the fourth surface and the second surface be a curved surface.

Moreover, the image forming apparatus can be structured as a head -mounted image display apparatus by providing a holding member that holds the image display device and the eyepiece optical system in front of the viewer's eye ball, and forming the prism member so that the luminous flux emanating from the image display device is incident on the fo urth surface, the incident luminous flux is reflected at the third surface, the reflected luminous flux is reflected at the first surface, the reflected luminous flux is reflected at the second surface and the reflected luminous flux exits from the first surface.

Moreover, in the image viewing apparatus, it is desirable that the prism member can be fixed in the same position both when an image formed by the image forming means is viewed and when the outside world image is viewed, and in that case, as descr ibed below with reference to FIG. 7, the image from the image forming means and the outside world image can be viewed in different

partial areas through the first surface and the third surface.

The prism member may be provided with switching means for swi tching between viewing of an image formed by the image forming means and viewing of the outside world image, and be moved by the switching means.

That is, by moving the prism member so that the first surface of the eyepiece optical system disposed immedia tely before the viewer's eye ball and the third surface disposed on the outside world side and totally reflecting part of the principal ray are in the vicinity of the viewer's axis of sighting, the outside world image can be viewed in the periphery of the axis of sighting when the viewer faces straight forward, that is, in the vicinity of the center of the field of view, so that the viewer can recognize the outside world before his eyes while wearing the image display apparatus. Consequently, an image disp lay apparatus ensuring safety can be realized.

Moreover, in a structure where the electronic image is kept displayed, by moving and returning the eyepiece optical system, the outside world image and the electronic image can be recognized while switching therebetween is made, so that the area of application is widened.

In this case, it is desirable for the switching means to move the prism member so that the optical path from the prism member to the viewer's eye ball when an image formed by the image forming means is viewed substantially coincides with the optical path from the prism member to the viewer's eye ball when the outside world image is viewed.

Moreover, in a structure where the prism member is moved in a direction along a plane including the optical path of the axial principal ray, since the prism member is linearly moved, the moving mechanism and the overall layout of the apparatus are simplified, so that an inexpensive image display apparatus can be realized.

Moreover, in a structure where the prism member is movable in a direction vertical to the axis of sighting, since not only the overall layout of the apparatus and the moving mechanism are simplified but also the amount of forward protrusion from the viewer is the same even after the

eyepiece optical system is moved, a small-size and compact image display apparatus can be provided.

Moreover, in a structure where the prism member is rotatable, since the outside world can be viewed by moving the prism member with a simple rotating mechanism, the mechanism itself is inexpensive, and further, in a structure where the prism members on the left and on the right are simultaneously rotated, the outside world can be recognized with both eyes, so that safety increases and the layout of the apparatus can be realized with a simple structure.

Moreover, in another image viewing apparatus of the present invention having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, the eyepiece optical system includes at least a prism member, the prism member has, in its surface structure, at least four optical property surfaces having an optical property of transmission or reflection, a space surrounded by the four optical property surfaces and a surface other than the four surfaces is filled with a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1), the four optical property surfaces comprise: a first surface having a transmission property and a reflection property, and disposed on a side of a viewer's eye ball; a second surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be at least decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; a third surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be substantially adjacent to the second surface; and a fourth surface disposed so that one end thereof is substantially adjacent to the first surface and the other end thereof is substantially in the vicinity of the third surface, the prism member is structured so that at least the third surface has a total reflection property, and the first surface, the single medium and the third surface are structured so as to have an outside world viewing property that enables the outside world to be viewed through the first surface, the single medium and the third surface. In this case, the surface other than the four optical property surfaces is a prism side surface or a cut surface having no optical

property.

These image viewing apparatuses are structured so that the outside world can be viewed through a surface disposed immediately before the viewer's eye ball and a surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system. This action and effect will be described with reference to FIG. 7. FIG. 7 is a cross-sectional view of a decentered prism 12 in which a space formed by four surfaces 3, 4, 5 and 6 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1. In the figure, reference numeral 1 represents the viewer's eye, reference numeral 2 represents the viewer's axis of sighting, reference numeral 3 represents a first surface of an eyepiece optical system 12, reference numeral 4 represents a second surface, reference numeral 5 represents a third surface, reference numeral 6 represents a fourth surface, reference numeral 7 represents an image display device, reference numeral 12 represents the eyepiece optical system, reference numeral 15 represents the viewer's eye ball, and reference numeral 16 represents an optical filter. The actual light ray path from the image display device 7 is such that the light ray emanating from the image display device 7 is incident on the fourth surface 6 of the eyepiece optical system 12, totally reflected at the third surface 5, totally reflected at the first surface 3, reflected at the second surface 4, and again passes through the first surface to project an image onto the viewer's eye ball 15 with the viewer's pupil 1 as the exit pupil.

In the image viewing apparatus of the present invention, since the third surface 5 is a totally reflecting surface and is not covered with reflective coating, the outside world light passing through the third surface 5 and the first surface 3 reaches the viewer's eye ball 15. Consequently, the outside world can be viewed in an area α different from the electronic image viewing area β. That the viewer can view the outside world image and the electronic image in different partial areas as mentioned above indicates, for example, that the viewer can simultaneously view the outside world in an upper area and the electronic image in a lower area in the viewer's field of view. The different partial areas may be areas arranged in any direction and parts such as upper and lower areas

or left and right areas as long as the viewer can view the two images in different partial areas, respectively. By providing such a function, the viewer can recognize the outside world while wearing the image display apparatus, so that a safe image display apparatus can be provided that can prevent danger and deal with emergencies. As a result, the area of application as an image display apparatus is widened.

In the image forming apparatus, it is desirable that the image forming means be an image display device (one relayed by the relay optical system is not predetermined) such as a CLD, a CRT or the like of which image formed screen is disposed so as to be opposed to the fourth surface and the second surface be a curved surface.

Moreover, the image forming apparatus can be structured as a head-mounted image display apparatus by providing a holding member that holds the image display device and the eyepiece optical system before the viewer's eye ball, and forming the prism member so that the luminous flux emanating from the image display device is incident on the fourth surface, the incident luminous flux is reflected at the third surface, the reflected luminous flux is reflected at the first surface, the reflected luminous flux is reflected at the second surface and the reflected luminous flux exits from the first surface.

Moreover, in the image forming apparatus, it is desirable that the surface disposed immediately before the viewer's eye ball and the surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system be formed so that the composite optical power in given positions of the two surfaces is substantially zero with respect to the outside world light. When the composite optical power of the two surfaces with respect to the outside world light is substantially zero, the outside world image viewed through the image forming apparatus is substantially equal to the outside world viewed with the naked eye, so that a more natural outside world image can be viewed. Consequently, danger can be prevented and the outside world can precisely be recognized in an emergency, so that a very safe image display apparatus can be provided.

In this case, the first surface and the third surface may be curved surfaces, spherical surfaces or plane surfaces. When the viewer views the outside world, the light ray from the outside world passes through the totally reflecting area of the internally reflecting surface disposed on the outside world side and the refracting surface disposed immediately before the viewer's eye ball to be projected onto the viewer's pupil. By the two surfaces being not aspherical but spherical, the curvatures of the surfaces do not change, so that viewing of a more natural off-axial outside world image is facilitated. Moreover, in a structure where the first surface disposed immediately before the viewer's eye ball and the third surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system are plane surfaces, since the surfaces have no optical power, a natural outside world image can be viewed. Further, in a structure where the two surfaces are vertical to the viewer's axis of sighting and disposed so as to be parallel to each other, since the outside world is viewed merely through a transparent plate, a very natural outside world image can be viewed.

In these structures, when the composite optical power, with respect to the outside world light, in given positions of the surface disposed immediately before the viewer's eye ball and the surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system is ϕ_u, it is desirable that the following expression be satisfied:

$$-0.5 \leqq \phi_u \leqq 0.5 \ (1/mm) \quad \ldots (3)$$

Here, ϕ_u corresponds to each of the optical power $\phi_u(yz)$ within a plane including the axial principal ray and the optical power $\phi_u(xz)$ within a plane vertical to the surface including the axial principal ray. Since the magnification when the outside world light passes through the decentered prism can be set to a value close to 1 by satisfying the condition of the expression (3), a more natural outside world image can be viewed.

Moreover, in the image viewing apparatus, it is desirable that the prism member can be fixed in the same position both when an image formed by the image forming means is viewed and when the outside world image is viewed, and in that case, as described above with reference to FIG.

7, the image from the image forming means and the outside world image can be viewed in different partial areas through the first surface and the third surface.

The prism member may be provided with switching m eans for switching between viewing of an image formed by the image forming means and viewing of the outside world image, and be moved by the switching means.

That is, by moving the prism member so that the first surface of the eyepiece optical system disp osed immediately before the viewer's eye ball and the third surface disposed on the outside world side and totally reflecting part of the principal ray are in the vicinity of the viewer's axis of sighting, the outside world image can be viewed in the perip hery of the axis of sighting when the viewer faces straight forward, that is, in the vicinity of the center of the field of view, so that the viewer can recognize the outside world before his eyes while wearing the image display apparatus. Consequently, a n image display apparatus ensuring safety can be realized.

Moreover, in a structure where the electronic image is kept displayed, by moving and returning the eyepiece optical system, the outside world image and the electronic image can be recognized while switching therebetween is made, so that the area of application is widened.

In this case, it is desirable that the surface disposed immediately before the viewer's eye ball and the surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system be formed so that the composite optical power of the two surfaces is substantially zero with respect to the outside world light. When the composite optical power of the two surfaces with respect to the outside world light is substantially zero, the viewe r can view a more natural outside world image, so that danger can be prevented and emergencies can appropriately be dealt with. As a result, a very safe image display apparatus can be provided.

When the composite optical power, with respect to the outsid e world light, in given positions of the surface disposed immediately before the viewer's eye ball and the surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system is ϕ_{α}, it is desirable that the following

expression be satisfied:

$$-0.5 \leqq \phi_{\alpha} \leqq 0.5 \ (1/mm) \quad \ldots (4)$$

Here, ϕ_{α} corresponds to each of the optical power $\phi_{\alpha}(yz)$ within a plane including the axial principal ray and the optical power $\phi_{\alpha}(xz)$ within a plane vertical to the surface including the axial principal ray. Since the magnifica tion when the outside world light passes through the decentered prism can be set to a value close to 1 by satisfying the condition of the expression (4), a more natural outside world image can be viewed.

In this case, it is desirable for the switching mea ns to move the prism member so that the optical path from the prism member to the viewer's eye ball when an image formed by the image forming means is viewed substantially coincides with the optical path from the prism member to the viewer's eye ball when the outside world image is viewed.

Moreover, in a structure where the prism member is moved in a direction along a plane including the optical path of the axial principal ray, since the prism member is linearly moved, the moving mechanism and the overall layout of the apparatus are simplified, so that an inexpensive image display apparatus can be realized.

Moreover, in a structure where the prism member is movable in a direction vertical to the axis of sighting, since not only the overall layout of the ap paratus and the moving mechanism are simplified but also the amount of forward protrusion from the viewer is the same even after the eyepiece optical system is moved, a small -size and compact image display apparatus can be provided.

Moreover, in a structure where the prism member is rotatable, since the outside world can be viewed by moving the prism member with a simple rotating mechanism, the mechanism itself is inexpensive, and further, in a structure where the prism members on the left and on the right can simultaneously be rotated, the outside world can be recognized with both eyes, so that safety increases and the layout of the apparatus can be realized with a simple structure.

In still another image viewing apparatus of the present invention having image forming means and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image forming means to a viewing eye ball, the eyepiece optical system includes at least a prism member, the prism member has, in its surface structure, at least four optical property surfaces having an optical property of transmission or reflection, a space surrounded by the four optical property surfaces and a surface other than the four surfaces is filled with a single medium having a refractive index (n) higher than 1 (n>1), the four optical property surfaces comprise: a first surface having a transmission property and a reflection property, and disposed on a side of a viewer's eye ball; a second surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be at least decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; a third surface having a reflection property and disposed so as to be opposed to the first surface with the medium in between and to be substantially adjacent to the second surface; and a fourth surface disposed so that one end thereof is substantially adjacent to the first surface and the other end thereof is substantially in the vicinity of the third surface, the prism member is structured so that at least the second surface or the third surface has a total reflection property, and line of sight detecting means for detecting the viewer's line of sight is disposed in the vicinity of an area where total reflection by the second surface or the third surface having the total reflection property is caused. In this case, the surface other than the four optical property surfaces is also a prism side surface or a cut surface having no optical property.

Now, the action and effect when the image viewing apparatus is structured as an image display apparatus will be described. The disposition of the line of sight detecting means in the vicinity of the optical system enables detection of the viewer's line of sight. The detection of the line of sight will be described with reference to FIGs. 5 and 6. (a) of FIG. 5 is a cross-sectional view of an image display apparatus comprising a decentered prism 12 in which a space formed by three surfaces 3, 4 and 6 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a

refractive index higher than 1, and an image display device 7. (b) of FIG. 5 is a cross-sectional view of an image display apparatus comprising a decentered prism 12 in which a space formed by four surfaces 3, 4, 5 and 6 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1, and an image display device 7. FIG. 6 is a cross-sectional view of another image display apparatus comprising a decentered prism 12 in which a space formed by four surfaces 3, 4, 5 and 6 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1, and an image display device 7. In the figures, reference numeral 1 represents the viewer's pupil, reference numeral 2 represents the viewer's axis of sighting, reference numeral 3 represents a first surface of an eyepiece optical system 12, reference numeral 4 represents a second surface, reference numeral 5 represents a third surface, reference numeral 6 represents a fourth surface, reference numeral 7 represents the image display device, reference numeral 9 represents a line of sight detecting optical system, reference numeral 10 represents a line of sight detector, reference numeral 11 represents illuminating means, reference numeral 12 represents the eyepiece optical system, and the reference numeral 15 represents the viewer's eye ball.

(a) of FIG. 5 is a view in which the line of sight detecting means 9 and 10 are disposed on the outside world side opposed to the viewer's eye ball 15 with the decentered prism of the eyepiece optical system 12 in between. In this case, it is necessary for the image of the viewer's pupil 1 to pass through the first surface 3 disposed immediately before the viewer's pupil 1 and the second surface 4 which is a reflecting surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system 12, to be incident on the line of sight detecting means 9 and 10. However, since the second surface 4 disposed on the outside world side of the eyepiece optical system 12 is a reflecting surface covered with reflective coating, to direct the image of the viewer's pupil 1 to the line of sight detecting means 9 and 10, it is necessary for the reflecting surface to have a part NC not covered with reflective coating (coating hole), which has a detrimental effect on the image being viewed.

(b) of FIG. 5 and FIG. 6 show image display apparatuses which are image viewing

apparatuses of the present invention. The third surface 5 which is a reflecting surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system 12 is set so that a part thereof totally reflects light. It is unnecessary to cover the totally reflecting part with reflective coating because the totally reflecting part reflects light from the image display device 7 without covered with reflective coating, and the image of the viewer's pupil 1 passes through the first surface 3 disposed immediately before the viewer's pupil 1 and the totally reflecting part of the third surface 5 disposed on the outside world side of the eyepiece optical system, so that the image of the viewer's pupil can be detected by the line of sight detecting means 9 and 10. Consequently, the line of sight can be detected without forming the coating hole that has a detrimental effect on viewing of the electronic image, in the reflecting surface of the eyepiece optical system.

In this case, it is desirable for the first surface of the decentered prism to have a total reflection property. In that case, it is desirable for the line of sight detecting means to be disposed in a position to detect the viewer's line of sight through the second surface or the totally reflecting area of the third surface.

Moreover, it is desirable to provide the illuminating means for illuminating the viewer's eye ball. In this image display apparatus, the viewer's line of sight can precisely be detected because a bright image can be detected by illuminating the viewer's eye ball. Moreover, it is desirable that the illuminating means be disposed on the outside world side of the eyepiece optical system. When the illuminating means 11 is disposed between the viewer's face and the eyepiece optical system 12 like (a) of FIG. 5, there is a possibility that it interfaces with glasses or the like. However, by disposing the illuminating means 11 on the outside world side of the eyepiece optical system 12 like (b) of FIG. 5, the interference with the viewer's face can be avoided. Further, by disposing the illuminating means 11 so that the illuminating light from the illuminating means 11 passes through the totally reflecting part of the reflecting surface of the eyepiece optical system 12, the viewer's pupil can be illuminated without the coating hole formed. Moreover, it is desirable for

the illuminating means to use infrared light. That an electronic image is viewed indicates that the viewer's pupil is illuminated by light of the image display device. In the line of sight detecting means required to capture a feeble virtual image and perform image analysis such as one employing a corneal reflex method, it is necessary to eliminate the reflection image caused by the luminous flux of the image display device of which light emanation amount changes from moment to moment. Normally, the image display device is an LCD or the like, and the emanating light is in a waveband of the visible region. Therefore, the influence of light from the image display device can be reduced by the illuminating means using infrared light.

In this case, the image viewing apparatus can also be structured as a head-mounted image display apparatus by providing a holding member that holds the eyepiece optical system, the image forming means and the line of sight detecting means before the viewer's face.

Moreover, the image forming apparatus can be provided with positioning means for positioning the image forming means and the eyepiece optical system with respect to the viewer's head.

Further, it can be made possible to view a three-dimensional image or the like with both eyes by providing supporting means for supporting at least two pairs of such image forming apparatuses with a predetermined interval in between.

Next, in an image display apparatus according to the present invention having an image display device and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image display device so that it can be viewed as a virtual image, the eyepiece optical system includes: a decentered prism in which a space formed by at least two surfaces is filled with a medium having a refractive index higher than 1 and at least one of a first surface situated immediately before the viewer's eye ball and a second surface which is a reflecting surface opposed to the first surface is a curved surface decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting; and aberration correcting means disposed outside the second surface and for correcting aberrations caused with respect to the outside

world light on the first surface and the second surface by dece ntering.

In the image display apparatus, when the outside world image is viewed through the first surface situated immediately before the viewer's eye ball and the second surface which is a reflecting surface opposed to the first surface, since at least o ne of the two surfaces is decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting, the viewed outside world image is similar to one viewed through a lens having an optical power biased asymmetrically with respect to the optical axis. Therefore, by disposing aberration correcting means such as a Fresnel lens that cancels the optical power of the second surface biased toward the outside world side, the viewer can view a more natural outside world image. Further, since the Fresnel lens is a very thin optical element, a small-size image display apparatus can be provided without the size increased.

Moreover, in the present invention, the Fresnel lens may be replaced by a different optical element such as a diffraction optical element or a holograp hic optical element as long as the above-mentioned effect is obtained.

When a Fresnel lens is used, it is desirable that the center of the zone of the Fresnel lens be situated within a plane including the optical path of the axial principal ray from the i mage display device and the Fresnel lens be decentered vertically to the axis of sighting within the plane including the optical path of the axial principal ray. The use of a Fresnel lens having an axially symmetrical configuration which is excellent in m anufacturability enables cost reduction. By disposing a Fresnel lens having an axially symmetrical optical power so as to be decentered with respect to the axis of sighting within the plane including the optical path of the axial principal ray, aberration s caused with respect to the outside world light on the first surface and the second surface by decentering can more excellently be corrected.

Moreover, the Fresnel lens may be disposed in a manner such that the center of the zone of the Fresnel lens is situated on the plane including the optical path of the axial principal ray, that the Fresnel lens is inclined with respect to the axis of sighting and that the direction of the inclination is

along the configuration of the second surface. Disposing the Fr esnel lens along the configuration of the second surface is disposing it so as to be inclined with respect to the viewer's axis of sighting. Therefore, the optical power can be set to a biased optical power being asymmetrical with respect to the optical axis, so that aberrations caused with respect to the outside world light on the first surface and the second surface by decentering can more excellently be corrected. Further, the amount of protrusion with respect to the viewer and the space between the ey epiece optical system and the Fresnel lens are reduced, so that a very compact image display apparatus without an unnecessary space can be provided.

In another image forming apparatus of the present invention having an image display device and an eyepiece optical system that directs an image formed by the image display device so that it can be viewed as a virtual image, the eyepiece optical system includes: a decentered prism in which a space formed by at least three surfaces is filled with a medium having a refractive index higher than 1, the at least three surfaces comprise a refracting and internally reflecting surface situated immediately before the viewer's eye ball, an outside world side internally reflecting surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system so as to be opposed to the refracting and internally reflecting surface, and a refracting surface on which the luminous flux emanating from the image display device is incident, at least one of the surfaces is decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting, and internal reflection occurs at least three times; and a second optical element that cancels the optical power caused with respect to the outside world light on the second surface when the outside w orld is viewed through the refracting and internally reflecting surface situated immediately before the viewer's eye ball and the outside world side reflecting surface, and the second optical element is disposed on the outside world side of the outside world side internally reflecting surface.

When the outside world image is viewed through the first surface situated immediately before the viewer's eye ball and the second surface which is a reflecting surface opposed to the first

surface, since at least one of the two surfaces is decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting, the viewed outside world image is similar to one viewed through a lens having a biased optical power that varies according to the image height. Therefore, by dis posing the second optical element that cancels the biased optical power caused with respect to the outside world light on the second surface, on the outside world side of the eyepiece optical system, the viewer can view a more natural and wider-area outside world image. Consequently, a safe image display apparatus can be provided that can prevent danger and deal with emergencies.

In this case, the eyepiece optical system may comprise a decentered prism in which a space formed by four surfaces is filled wi th a medium having a refractive index higher than 1, the four surfaces comprise a first surface which is a refracting and reflecting surface situated on the side of the viewer's eye ball, a second surface which is a reflecting surface opposed to the first surface, a third surface which is a reflecting surface opposed to the first surface and adjoining the second surface, and a fourth surface which is a refracting surface closest to the image display device, and at least one of the surfaces is decentered or inclined with respect to the viewer's axis of sighting. When the eyepiece optical system comprises four surfaces as described above, the outside world is recognized by the outside world light having passed through the first surface and the second surface. In that case, by disposing a second optical element that cancels the biased optical power only in an area covered by the second surface, an additional function can be realized without the overall size of the eyepiece optical system increased.

Moreover, it is desirable to dispose at least one second optical element on the outside world side of the second surface or the third surface so that the outside world can be viewed through the first surface, the second surface and the second optical element, or the first surface, the third surface and the second optical element. By disposing the second optical element that cancels the biased optical power on the outside world side of the second surface, a natural outside world image can be viewed in an area substan tially the same as the area in which the electronic image is viewed.

Likewise, by disposing the second optical element that cancels the biased optical power on the outside world side of the third surface, a natural outside world image can also be viewed i n an area different from the area in which the electronic image is viewed. By disposing two second optical elements one on the outside world side of the second surface and the other on the outside world side of the third surface, the viewer can view all t he outside world images that pass through the first and the second surfaces and the first and the third surfaces. Consequently, the outside world viewing angle is wider than the electronic image viewing angle, so that a natural and wide -area outside world image can be viewed. As a result, a very safe image display apparatus can be provided that can prevent danger and appropriately deal with emergencies.

Moreover, it is desirable for the second optical element to simultaneously cancel the composite optical power of the first and the second surfaces or the first and the third surfaces with respect to the outside world light. By forming the second optical element that simultaneously cancels the composite optical powers of the first and the second surfaces a nd the first and the third surfaces with respect to the outside world light, of one optical element, and disposing it on the outside world side of the eyepiece optical system, a wide area of outside world can be viewed. Since this second optical element s imultaneously cancels the composite optical powers, there is no gap in the outside world image, so that a more natural outside world image can be viewed. Consequently, a wide area of outside world can be recognized with one optical element, so that a low-cost and safer image display apparatus can be provided that can prevent danger and deal with emergencies.

Moreover, in the above-described structure, positioning means can be provided for positioning the image display device and the eyepiece optical syste m with respect to the viewer's head. By providing the positioning means for positioning the image display device and the eyepiece optical system with respect to the viewer's head, the viewer can view a stable electronic image.

Moreover, the image display apparatus can be mounted on the viewer's head by providing supporting means for supporting the image display device and the eyepiece optical system with respect to the viewer's head. By providing the supporting means for supporting the image display device and the eyepiece optical system with respect to the viewer's head so that the image display apparatus can be mounted on the viewer's head, the viewer can view the electronic image in whatever viewing positions and viewing directions he likes.

Further, supporting means for supporting at least two pairs of image display apparatuses with a predetermined interval in between can be provided. By providing the supporting means for supporting at least two pairs with a predetermined interval in between, the vie wer can easily view images with the left and the right eyes. Moreover, by displaying images where a parallax is provided between the left and the right electronic images and viewing them with both eyes, a three-dimensional image can be enjoyed.

Moreover, the eyepiece optical system in the above -described image display apparatus can be used as an imaging optical system. The eyepiece optical system can be used as an imaging optical system such as a finder optical system of a camera as shown in FIG. 24 by f orming it so as to image an object at infinity with the image display surface thereof as an image surface.

In the present invention, one surface may be used both as the second surface and the third surface. In that case, since the physical number of surf aces can be reduced by one, the process can be simplified in optical design and in prism manufacture, which contributes to mass productivity and price reduction. Further, by using physically one surface having both the property of the second surface and the property of the third surface as the second and the third surfaces and setting the areas in which the luminous flux is internally reflected so as to overlap each other, size reduction of the prism member can be realized.

[Embodiments of the Invention] Hereinafter, first to seventeenth embodiments of the image display apparatus according to the present invention will be described. In the structural

parameters of the embodiments described below, as typically shown in FIG. 1, an exit pupil 1 of an eyepiece optical system 12 is the origin of the optical system, an optical axis 2 is defined by a light ray passing through the center of display of an image display device 7 and the center (origin) of the exit pupil 1, the direction in which the optical axis 2 e xtends from the exit pupil 1 is the z -axis direction, the direction that is perpendicular to the z -axis, passes through the center of the exit pupil 1 and is within a plane where the light ray is bent by the eyepiece optical system 12 is the y -axis direction, a direction that is perpendicular to the z -axis and the y-axis and passes through the center of the exit pupil 1 is the x -axis direction, a direction from the exit pupil 1 to the eyepiece optical system 12 is the positive z -axis direction, a direction from the optical axis 2 to the image display device 7 is the positive y-axis direction, and a direction constituting a right -hand system together with the z-axis and the y-axis is the positive x -axis direction. Ray tracing is performed according to backward ray tracing with the exit pupil 1 side of the eyepiece optical system 12 as the object side and the image display device 7 side thereof as the image side.

With respect to the surfaces for which decentering amounts Y and X and an inclination amount θ are provided, the decentering amounts Y and X and the inclination amount θ represent the amounts of shift in the y direction and the z direction from the exit pupil 1 which is the origin of the optical system and the angle of inclination of the central a xis of the surface with respect to the z-axis unless otherwise specified in the structural parameters (there is specification in the sixth and the ninth embodiments). The angle of inclination is positive counterclockwise. When a reference surface is specified, the decentering amounts Y and X and the inclination amount θ represent similar shift amounts and inclination angle from the vertex of the reference surface.

In the structural parameters shown below, axial distances in coaxial parts are shown as distances. In addition, the radii of curvature of the spherical surf aces, the refractive indices of the media and the Abbe numbers are shown according to the conventional method.

FIGs. 1 to 4, (b) of FIG. 5 and FIGs. 6 to 17 are cross -sectional views of image display

apparatuses of the first to the fourth, the fifth and t he sixteenth to the seventeenth embodiments of the present invention including the optical axis. The embodiments of FIGs. 1 to 4, (b) of FIG. 5, FIGs. 6 to 11 and FIGs. 15 and 16 comprise a decentered prism 12 in which a space formed by four surfaces 3, 4, 5 and 6 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1, and the embodiment of FIG. 17 comprises a decentered prism 12 in which a space formed by three surfaces 3, 4 and 6 decentered with respec t to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1. In the figures, reference numeral 1 represents the viewer's pupil, reference numeral 2 represents the viewer's axis of sighting, reference numeral 3 represents a first surface of an eyepiece optical system 12, reference numeral 4 represents a second surface, reference numeral 5 represents a third surface, reference numeral 6 represents a fourth surface, reference numeral 7 represents an image display device, reference nu meral 8 represents a Fresnel lens, reference numeral 9 represents a line of sight detecting optical system, reference numeral 10 represents a line of sight detector, reference numeral 11 represents illuminating means, reference numeral 12 represents the ey epiece optical system (decentered prism), reference numerals 13 and 14 represent second optical elements, reference numeral 15 represents the viewer's eye ball, reference numeral 16 represents an optical filter, reference numeral 17 represents a linear motor, reference numeral 18 represents protrusions provided on an optical element, and reference numeral 19 represents a guide (rail) provided on an exterior portion. With respect to the actual light ray path when an electronic image is viewed, in the embodi ments of FIGs. 1 to 4, (b) of FIG. 5, FIGs. 6 to 11 and FIGs. 15 and 16, the light ray emanating from the electronic image on the image display device 7 is incident on the fourth surface 6 which is a refracting surface opposed to the image display device 7 of the eyepiece optical system 12, is reflected at, of the two surfaces 4 and 5 situated opposite to the viewer's face, the third surface 5 adjoining the fourth surface 6 toward the side of the viewer's pupil 1, is reflected at the first surface 3 dispose d immediately before the viewer's pupil 1 in a direction for the light ray to recede from the viewer's pupil 1, is reflected at, of

the two surfaces 4 and 5 situated opposite to the viewer's face, the second surface 4 disposed immediately before the viewer's pupil 1 toward the side of the viewer's pupil 1, and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball 15 with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1. In the embodim ent of FIG. 17, the light ray emanating from the electronic image on the image display device 7 is incident on the fourth surface 6 which is a refracting surface opposed to the image display device 7 of the eyepiece optical system 12, is reflected toward t he side of the viewer's pupil 1 at an area (the third surface 5), adjoining the fourth surface 6, of the second surface 4 situated opposite to the viewer's face and used also as the third surface 5, is reflected at the first surface 3 disposed immediately before the viewer's pupil 1 in a direction for the light ray to recede from the viewer's pupil 1, is reflected toward the side of the viewer's pupil 1 at an area of the second surface 4 which area is situated opposite to the viewer's face and far from the fourth surface 6, and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball 15 with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1.

The ones shown in (b) of FIG. 5 and FIG. 6 are e mbodiments of the image display apparatus of the present invention having the line of sight detecting means. The third surface 5 which is a reflecting surface disposed on the outside world side of the eyepiece optical system 12 is set so that a part there of totally reflects light. It is unnecessary to cover the totally reflecting part with reflective coating because the totally reflecting part reflects light from the image display device 7 without covered with reflective coating. The actual light ray pat h when the line of sight is detected is such that the illuminating light from the light source 11 passes through the third surface 5 and the first surface 3 of the eyepiece optical system 12 to illuminate the viewer's eye ball 15 and the light ray reflected thereat is incident on the first surface 3 disposed immediately before the viewer's pupil 1, passes through the totally reflecting area which is at least a part of the third surface 5 situated opposite to the viewer's face, and is directed to the line of sight detector 10 by the line of

sight detecting optical system 9 to form an image of the viewer's pupil 1. Needless to say, the illuminating means 11 using infrared light and the detector 10 detecting infrared light may be used to reduce the influence of light on the electronic image and the like. Further, the illuminating means 11 may be disposed in a position other than the shown position or in any position as long as the viewer's eye ball 15 can be illuminated.

FIG. 18 is a cross-sectional view of an embodiment in which similar line of sight detecting means comprising the line of sight detecting optical system 9, the line of sight detector 10 and the light source 11 is provided in the case of the eyepiece optical system 12 comprising the three surfaces 3, 4 and 6 decentered with respect to the optical axis like the seventeenth embodiment. The actual light ray path when the line of sight is detected will not be described because it is similar to that of (b) of FIG. 5 and FIG. 6.

The one shown in FIG. 7 is an embodiment of the image display apparatus of the present invention with which the electronic image and the outside world image can simultaneously be viewed through the eyepiece optical system 12. The actual light ray path when the outside world image is viewed is such that the light ray from the object point of the outside world is incident on the third surface 5, passes through the first surface 3 and is projected within the viewer's eye ball with the position of the viewer's iris or the center o f rotation of the eye ball as the exit pupil 1. Further, by disposing on the outside world side of the third surface 5 an attenuating filter or the optical element 16 that adjusts the quantity of the outside world light, the viewer can easily view both or one of the electronic image and the outside world image. Moreover, by making the attenuating filter or the optical element 16 movable between the viewing areas α and β, the light quantity of either the electronic image or the outside world image can be controlled.

The ones shown in FIGs. 8 and 9 are embodiments of another image display apparatus of the present invention with which the outside world image can be viewed by moving the eyepiece optical system 12. In FIG. 8, the eyepiece optical system 12 is shifted to the outside world image

viewing position of (b) of FIG. 8 by moving it from the electronic image viewing position of (a) of FIG. 8 in the negative Y direction with respect to the viewer's pupil. In FIG. 9, the eyepiece optical system 12 is shifted to the outside image viewing position of (b) of FIG. 9 by rotating it clockwise from the electronic image viewing position of (a) of FIG. 9 with respect to t he viewer's pupil 1. Consequently, in either case, the outside world can be viewed through the eyepiece optical system 12 in the direction of the viewer's axis of sighting. The light ray from the object point of the outside world is incident on the third surface 5 and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1. Further, in (b) of FIG. 8, the viewer can view the electro nic image in an area below the viewer's axis of sighting 2. The electronic image viewing direction may be any direction because it varies according to the manner of disposition or the direction of movement of the eyepiece optical system 12.

(c) of FIG. 8 and (c) of FIG. 9 each show an example of a mechanism for moving the eyepiece optical system 12. In either case, the eyepiece optical system 12 is moved along the guide (rail) 19 provided on the exterior portion by the linear motor 17 through the protrus ions 18 provided on the optical element. In the case of (c) of FIG. 8, the guide (rail) 19 is linear, whereas in the case of (c) of FIG. 9, the guide (rail) 19 is arc-shaped, so that the eyepiece optical system 12 is linearly moved and rotated in these ca ses, respectively.

FIG. 19 shows an example in which in the case of the eyepiece optical system 12 comprising the three surfaces 3, 4 and 6 decentered with respect to the optical axis like the seventeenth embodiment, the eyepiece optical system 12 is shif ted to the outside world image viewing position by moving it from the electronic image viewing position in the negative Y direction with respect to the viewer's pupil like the embodiment of FIG. 8. The action thereof will not be described because it is si milar to that of FIG. 8.

The ones shown in FIGs. 10 to 14 are embodiments of the image display apparatus of the

present invention in which the Fresnel lens 8 which is the aberration correcting means is disposed on the optical path when the outside world i mage is viewed. The actual light ray path when the outside world image is viewed is such that the light ray from the object point of the outside world passes through the Fresnel lens 8 to be incident on the second surface 4 of the decentered prism and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1. It is necessary to situate the Fresnel lens 8 in a predetermined position on ly when the outside world is viewed. When the outside world is not viewed, the Fresnel lens 8 may be situated in a different position by a moving mechanism that vertically moves or rotates the Fresnel lens 8, or the Fresnel lens 8 may be structured so as to be detachable when the outside world is not viewed.

Of FIGs. 10 to 14, in the cases of FIGs. 10 and 11, like FIG. 1 and the like, the eyepiece optical system (decentered prism) 12 comprises the four surfaces 3, 4, 5 and 6 decentered with respect to the optical axis and the light ray path when the electronic image is viewed is similar. However, the decentered prism 12 of FIG. 12 comprises the decentered prism 12 in which a space formed by the three surfaces 3, 4 and 6 decentered with respect to the opti cal axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1, and the actual optical path when the electronic image is viewed is such that the light ray emanating from the electronic image on the image display device 7 is incident on the fourth surface (being third in the order of surfaces) 6 which is a refracting surface opposed to the image display device 7 of the eyepiece optical system 12, is reflected at the first surface 3 disposed immediately before the viewer's pupil 1 in a direction for the light ray to recede from the viewer's pupil 1, is reflected at the second surface 4 situated opposite to the viewer's face toward the side of the viewer's pupil 1, and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball 15 with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1.

Moreover, the decentered prism 12 of FIG. 13 comprises the decentered prism 12 in which

a space formed by the three surfaces 3, 4 and 6 decentered with r espect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1, and the actual light ray path when the electronic image is viewed is such that the light ray emanating from the electronic image on the image display device 7 is in cident on the fourth surface (being third in the order of surfaces) 6 which is a refracting surface opposed to the image display device 7 of the eyepiece optical system 12, is reflected at the second surface 4 situated opposite to the viewer's face toward the side of the viewer's pupil 1, and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball 15 with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1.

Moreover, the decentered prism 12 of FIG. 14 comprises the decentered prism 12 in which a space formed by the two surfaces 3 and 4 decentered with respect to the optical axis is filled with a medium having a refractive index higher than 1, and the actual light ray path when the electroni c image is viewed is such that the light ray emanating from the electronic image on the image display device 7 is incident on the first surface 3 which is a refracting surface opposed to the image display device 7 of the eyepiece optical system 12, is refl ected at the second surface 4 situated opposite to the viewer's face toward the side of the viewer's pupil 1, and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball 15 with the position of the viewer's iris or the center of rot ation of the eye ball as the exit pupil 1.

Next, the ones shown in FIGs. 15 and 16 are embodiments of the image display apparatus of the present invention in which the second optical elements 13 and 14 that cancel the optical power caused on the two surfa ces 3 and 4 or 3 and 5 with respect to the outside world light when the outside world is viewed through the first surface 3 of the eyepiece optical system 12 situated immediately before the viewer's eye ball and the second surface 4 or the third surface 5 which is an outside world side internally reflecting surface are disposed on the optical path when the outside world is viewed. The actual light ray path when the outside world image is viewed is such that the light ray from the object point of the outsid e world passes through the second optical element 13 or

the other second optical element 14 to be incident on the second surface 4 or the third surface 5 of the decentered prism 12, and passes through the first surface 3 to be projected within the viewer's eye ball with the position of the viewer's iris or the center of rotation of the eye ball as the exit pupil 1.

A monocular image display apparatus may be structured by providing one pair of eyepiece optical system and image display device as described ab ove, or a binocular image display apparatus may be structured by providing such a pair on each of the left and the right and holding them in positions spaced the interpupillary distance apart. By doing so, the present invention can be structured as a fixed or a portable image display apparatus with which images can be viewed with one eye or both eyes.

A case of the monocular image display apparatus is shown in FIG. 21 (in this case, mounted on the left eye), and a case of the binocular image display appar atus is shown in FIG. 22. In FIGs. 21 and 22, reference numeral 31 represents the main unit of the image display apparatus which is fixed by a supporting member through the head so as to be held before the left eye on the viewer's face in the case of FIG. 21 and before both eyes on the viewer's face in the case of FIG. 22. The supporting member comprises left and right front frames 32 having one ends joined to the main unit 31 and extending from the viewer's temples to above the viewer's ears, and left an d right rear frames 33 joined to the other ends of the front frames 32 and extending along side parts of the viewer's head (in the case of FIG. 21), or comprises, in addition to the front and the rear frames 32 and 33, a vertex frame 34 having its ends joi ned to the other ends of the left and right rear frames 33, respectively, so as to be sandwiched therebetween, and supporting the vertex part of the viewer's head (in the case of FIG. 22).

Moreover, in the vicinity of the joints of the front frames 32 to the rear frames 33, rear plates 35 comprising an elastic body such as a metal plate spring are joined. The rear plates 35 are each joined so that a rear cover 36 constituting a part of the supporting member is situated in the rear of the viewer's ear in a part ranging from the back of the head to the base of the neck so as to be supportable (in the case of FIG. 22). A speaker 39 is attached in a position corresponding to each of the viewer's ears within the rear plate 35 or the rear cover 36.

A cable 41 for externally transmitting signals such as video and sound signals passes from

the main unit 31 through the vertex frame 34 (in the case of FIG. 22), the rear frame 33, the front frame 32 and the rear plate 35 to outwardly protrude from the rear end of th e rear plate 35 or the rear cover 36. The cable 41 is connected to a video reproducing apparatus 40. In the figure, reference numeral 40a represents a switch and a volume controller of the video reproducing apparatus 40.

An end of the cable 14 may be a jack so that the cable 41 is attachable to an existing video deck or the like. Further, the cable 41 may be connected to a TV tuner to realize an image display apparatus for TV watching, or may be connected to a computer so that computer graphics images o r message images from the computer are received. Moreover, to exclude the obstructive code, an antenna may be connected so that extemal signals are received by radio waves.

When used as an imaging optical system, the eyepiece optical system of the image display apparatus of the present invention can be used, for example, as a finder optical system Fi of a compact camera Ca as shown in FIG. 23 in which a taking optical system Ob and the finder optical system Fi are separately provided. The structure of a n optical system when the eyepiece optical system is used as an imaging optical system is shown in FIG. 24. An objective optical system Lt can be formed of a front lens unit GF, an aperture diaphragm D and the eyepiece optical system DS of the present invention disposed in the rear thereof. The image formed by the objective optical system Lt is erected by a four-reflection Porro prism P provided on the viewer side of the objective optical system Lt, and viewed through an eyepiece lens Oc.